

**Diseño de sistema de control electrónico para tratamiento del estrés por calor a gallinas
ponedoras con red de sensores inalámbricos y aplicativo de escritorio**

Sergio Andrés Sierra Payares

Director

Wilson Jesús Arrubla Hoyos

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Ingeniería de Telecomunicaciones

2022

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi preciada familia y a mi esposa, por siempre creer en mí, darme el apoyo y aliento necesario para llevarlo a cabo.

Agradecimientos

Quiero empezar agradeciendo a Dios por darme la sabiduría y guía para llevar a cabo esta tarea y afrontar cada reto de su ejecución de mejor manera y positivismo, sin Él no hubiera podido.

Agradecer a mi mamá Mabel Del Carmen Payares Mejía por estar siempre para mí con una sonrisa y brazos abiertos, y forjar en mí un carácter ameno y trabajador.

A mi padre Neftaly Augusto Sierra Martínez que todos los días me ha dado su cariño y me ha ayudado a poder ser un profesional entregado desde incluso antes de graduarme y de mi hermano mayor Félix De Jesús Narváez Payares por ser lo juguetón que siempre ha sido.

También agradecer a compañeros de mi actual empleo, amigos de la universidad e iglesia a la que asisto, son invaluable en mi vida.

Resumen

La economía del campo colombiano y la alimentación de muchas familias depende de la producción de gallinas ponedoras para consumo humano. Mediante estudios científicos se conoce que altas temperaturas y exceso de humedad afectan a estas aves. El impacto negativo de estas condiciones en las gallinas logra debilitarlas con terribles consecuencias para ellas y el campesino que las posee. Este proyecto provee el diseño de un sistema tecnológico e innovador de bajo precio, que ayuda a mitigar el agobio que sufren gallinas ponedoras cuando enfrentan estrés por calor. Para la elaboración de este proyecto aplicado se tomó una perspectiva metodológica mixta, puesto que en un primer instante se afronta desde un análisis cualitativo que es necesario para la caracterización de variables medioambientales implicadas en el seno de este eje temático, y también se plantea desde un análisis cuantitativo, en el que se aprecian las variables dentro del escenario planteado. Para ambos enfoques se efectuará búsqueda de información relacionada a la vida y preservación de las gallinas ponedoras; adecuando así la solución a los parámetros de calidad que permiten el bienestar de ellas, a su vez usando herramientas tecnológicas profesionales como lo son Arduino, entornos de simulación como LabVIEW y Proteus.

Palabras clave: Sistema de control, altas temperaturas, regulación del estrés, gallinas ponedoras.

Abstract

The economy of the Colombian countryside and the nutrition of many families depend on the production of laying hens for human consumption. Through scientific studies it is known that high temperatures and excess humidity affect these birds. The negative impact of these conditions on the hens manages to weaken them with terrible consequences for them and the farmer who owns them. This project provides the design of a technological and innovative system at a low price, which helps to mitigate the stress suffered by laying hens when they face heat stress. For the elaboration of this applied project, a mixed methodological perspective was taken, since at first it is faced from a qualitative analysis that is necessary for the characterization of environmental variables involved within this thematic axis, and it is also raised from a quantitative analysis, in which the variables within the proposed scenario are appreciated. For both approaches, information related to the life and preservation of laying hens will be searched; thus adapting the solution to the quality parameters that allow their well-being, in turn using professional technological tools such as Arduino, simulation environments such as LabVIEW and Proteus.

Keywords: Control system, high temperatures, stress regulation, laying hens.

Tabla De Contenido

Resumen.....	4
Abstract	5
Introducción	12
Descripción del proyecto	14
Definición y Justificación del Problema.....	14
Justificación	16
Objetivos.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Marco Referencial.....	19
Antecedentes	19
Experimento a 300 Gallinas con Ventilación De Distintas Velocidades.....	19
Caso De Automatización De Temperatura Para Galpón En Finca Avícola	20
Automatización De Planta Avícola.....	21
Marco Legal	22
Legislación Nacional	22
Fundamentos	23
Arduino	23
Arduino IDE.....	23
Shield Arduino	23
LabVIEW	24
Proteus.....	24
Red De Sensores Inalámbricos	24
Tecnología Zigbee	24

Tipos de dispositivos lógicos Zigbee	25
Topologías De Red Zigbee	25
IEEE 802.15.4	26
Metodología	27
Metodología Para El Diseño Del Sistema Electrónico	27
Fase De Caracterización	29
Consultas Bibliográficas En Bases De Datos Especializados.....	29
Variables De Temperatura Y Humedad Que Afectan A Las Gallinas	30
Criterios para la topología de red que conviene al proyecto.....	33
Criterio Para Selección De Componentes Por Usar En Cada Nodo	35
Placa De Hardware Programable	36
Módulo Zigbee.....	36
Sensor De Temperatura y Humedad	36
Actuador.....	36
PC y Software De Monitoreo.....	37
Fase De Diseño	38
Elección De Componentes y Características Técnicas	38
Arduino UNO Rev3	38
Arduino MEGA 2560 Rev3	39
Modulo Zigbee y Shields Xbee.....	40
Sensor DHT22	41
PC y Software De Monitoreo.....	43
Planos Esquemáticos Del Diseño.....	44
Topología Con Componentes Seleccionados.....	46
Algoritmos y Código De Cada Nodo.....	47

Algoritmo Para Arduino UNO – Nodo De Sensores	47
Código Para Arduino UNO – Nodo De Sensores	49
Algoritmo Para Arduino MEGA - Nodo Coordinador PC	52
Código Para Arduino MEGA – Nodo Coordinador PC.....	53
Aplicativo De Monitoreo Para PC En Labview.....	54
Fase De Simulación	58
Configuración De Puertos Serie.....	58
Configuración De Proteus.....	61
Configuración De LabVIEW	64
Análisis De Resultados	67
Conclusiones	68
Recomendaciones	69
Referencias.....	70

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Topologías de red para Zigbee</i>	26
Figura 2 <i>Metodología para elaboración de proyecto</i>	29
Figura 3 <i>Adaptación del índice de estrés por calor de temperatura y humedad para aves ponedoras</i>	31
Figura 4 <i>Topología de red de referencia conveniente al proyecto</i>	34
Figura 5 <i>Prototipo de diseño con Componentes previstos en la metodología del proyecto</i> ...	35
Figura 6 <i>Interfaz de referencia para aplicativo de PC del proyecto</i>	37
Figura 7 <i>Placa de hardware programable - Arduino UNO</i>	38
Figura 8 <i>Placa de Arduino MEGA 2560 Rev3</i>	40
Figura 9 <i>Arduino con una shield en su parte superior que alberga un módulo Zigbee en su punta</i>	41
Figura 10 <i>Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22</i>	42
Figura 11 <i>Ventilador 5V de referencia</i>	43
Figura 12 <i>Esquemático del diseño realizada en Proteus a blanco y negro</i>	44
Figura 13 <i>Topología con componentes seleccionados</i>	46
Figura 14 <i>Diagrama de flujo del código en cada nodo de sensores</i>	48
Figura 15 <i>Diagrama de flujo del código en nodo Coordinador / PC</i>	53
Figura 16 <i>Diseño de interfaz gráfica de aplicativo para PC en LabVIEW</i>	54
Figura 17 <i>Diagrama de flujo de aplicativo de monitoreo en LabVIEW</i>	56
Figura 18 <i>Algoritmo cuando no se ha iniciado el aplicativo</i>	57
Figura 19 <i>Aplicativo cuando se ha iniciado y tiene su lógica lista para lectura y muestra de alertas</i>	57

Figura 20 <i>Configuración de par de puertos serie(COM1 y COM2)</i>	59
Figura 21 <i>Configuración de puerto serie conector (COM3)</i>	60
Figura 22 <i>Software de simulación de puertos serie configurado</i>	60
Figura 23 <i>Configuración de ambos módulos Xbee en Proteus</i>	61
Figura 24 <i>Configuración de Arduinos en Proteus</i>	62
Figura 25 <i>Sensor DHT22 mostrando valores para simulación en Proteus</i>	62
Figura 26 <i>Puerto P1 que hará de USB para Arduino MEGA 2560 Rev3 en Proteus</i>	63
Figura 27 <i>Proteus simulando todos los Arduinos con sus salidas a través de los módulos Xbee y sensor DHT22 mostrando valores puestos previamente</i>	64
Figura 28 <i>Selección de puerto para trabajar en LabVIEW con aplicativo de monitoreo en tiempo real (COM3)</i>	65
Figura 29 <i>Botón de Marcha en aplicativo desarrollado en LabVIEW</i>	65
Figura 30 <i>Aplicativo de monitoreo en LabVIEW funcionando en tiempo real</i>	66
Figura 31 <i>Resumen de resultados obtenidos en distintas salidas de Proteus y en aplicativo de monitoreo en LabVIEW</i>	67

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Metodología del proyecto</i>	28
--	----

Introducción

La fuerte problemática climática que estamos viviendo y que a nuestros descendientes le tocará vivir está causando todo tipo de consecuencias a humanos y seres vivos en general (Porrúa, 2001). Las aves para producción de huevos y carne, como las gallinas ponedoras no son la excepción, ellas están sujetas a las altas o bajas temperaturas de los lugares donde nosotros las ubiquemos para tales propósitos (Ranjan et al., 2019). Los problemas que pueden llegar a causar las elevadas temperaturas son amplios, y por si fuera poco, al estar las aves enfermas e incluso morir, también hacen perder al campesinado dinero y esfuerzo de su mano de obra, que vela por ellas y subsiste económicamente de ellas. Es por esto que desarrollar una estrategia de permita brindar bienestar y cuidado con respecto a estas queridas aves, es de suma importancia.

En el siguiente proyecto aplicado se elabora el diseño de un sistema electrónico que combina telecomunicaciones, programación y electrónica con el fin de mitigar los efectos que altas temperaturas pueden causar a gallinas ponedoras, basándonos en investigaciones e información detallada, esto a su vez, se logra a través de implementar una red de sensores inalámbricos con nodos que estén compuestos con placas de hardware programable, y que cuenten con un actuador que aplaque la temperatura; al mismo tiempo, se desarrolla un aplicativo de escritorio para monitoreo para uso del sistema.

La forma en cómo se presenta este documento consta de una organización por capítulos, los cuales están provistos de la siguiente forma: El capítulo 1: *Descripción del proyecto* se compone de partes como resumen, introducción objetivos y demás elementos para dar pie introductorio al proyecto, el capítulo 2: *Marco referencial* provee todo el marco teórico, legal y conceptual y proyectos antecedentes que provean de margen general al diseño, el capítulo 3: *Metodología* plantea la metodología y serie de pasos ordenados a seguir para llevar a cabo este

proyecto, el capítulo 4: *Diseño de la solución* muestra el desarrollo paso a paso del sistema, desde la elaboración del esquemático hasta el código a usar en cada parte del proyecto. El capítulo 5: *Simulación y resultados* es donde hablaremos en más detalle de los valores obtenidos a través de las etapas de simulación del diseño puesto a prueba.

Descripción del proyecto

Definición y Justificación del Problema

Las gallinas ponedoras y sus productos derivados son un punto importante en la alimentación de la mayoría de las familias colombianas (Editorial La República S.A.S., 2021). El consumo de huevo, por ejemplo, es notable debido a que es una fuente fantástica de proteínas incluyendo vitaminas entre otros, teniendo un precio relativamente más accesible que otras fuentes de energía (Vidal, 2009).

Tristemente, amplía es la lista de problemas de nuestro medio ambiente, y sumado a ello, ahora tenemos un aumento de la temperatura año por año a lo largo de todo el mundo, e incluso se prevé tenga un aumento sin parar hasta el año 2100 (Cordero, 2014). Las cifras son desalentadoras para nosotros como raza humana, pero animales y fauna no están libres de las consecuencias que puedan tener al exponerse a altas temperaturas. En el tiempo presente, las gallinas ponedoras son un caso particular dentro de este fuerte desafío. Estas últimas tienen características especiales como el no contar con glándulas sudoríparas y poseer plumaje, acrecentando seriamente sus problemas de estrés por calor (Ranjan et al., 2019). Así, estudiando la situación, científicos han identificado a lo largo de los años serios tipos de males que pueden sufrir estas gallinas debido al estrés por altas temperaturas:

Muerte por estrés calórico (Ranjan et al., 2019).

Inhibición de la respuesta inmune (Mashaly et al., 2004).

Afectación de las funciones ováricas (Rozenboim et al., 2007).

Disminución de producción de huevos (Cabrera, 2016).

Cáscaras más delgadas en sus huevos (Cabrera, 2016).

Aumento del canibalismo dentro de los corrales (Nardone et al., 2010).

Esto es un problema tan serio, que los propietarios de las aves también pueden verse seriamente afectados, perdiendo aves durante ataques de calor, viendo reducidas su producción e incluso, viendo como algunas canibalizan dentro de sus corrales. Por último y no menos importante, el consumidor final de su carne o huevos podría verse afectado al tener productos de mala calidad, como huevos con cáscaras muy delgadas para su uso.

Sabiendo esto, y que cada vez más la tecnología se acerca a cada esfera de nuestra sociedad, esta propuesta se ha trazado la siguiente pregunta problema:

¿Cómo efectuar tratamiento al estrés de las gallinas ponedoras haciendo uso de tecnologías de la información y comunicación?

Justificación

Al pensar en ciertas partes de nuestro país, donde la agricultura y cría de animales para consumo y comercio predomina, es muy fácil percatarse de las condiciones adversas que sufre el campesinado y los animales implicados; Instalar una infraestructura tecnológica que facilite la vida de los campesinos, ganaderos y animales involucrados en esta actividad siempre será de gran ayuda. La ayuda que podría brindar la tecnología a gallinas ponedoras es extensa, debido a numerosos estudios científicos que detallan el gran estrés al que ellas se someten por ataques de calor. Al ser aves que no cuentan con glándulas sudoríparas y además poseer un plumaje, enferman por no tener un ambiente adecuado para ellas. Esto también repercute en que muchos campesinos sufren constantes pérdidas numéricas de sus aves dentro de sus instalaciones debido al no brindarles todo el cuidado requerido a sus gallinas. Con la elaboración de este proyecto se busca brindar el diseño de una solución tecnológica de vanguardia que cubra esta necesidad y saque ventaja de la situación para beneficio de los campesinos como también de los animales que ellos cuidan, incluso de los posibles consumidores finales de los productos de las aves: Sus huevos o su carne, ya que el estrés por calor afecta hasta la calidad de las cáscaras de sus huevos. Por esta razón, el proyecto es relevante y plantea una mejora para la vida del campo, tanto para aves como para propietarios o lugar tenientes del campo.

El proyecto será estructurado para entregar el diseño de un sistema funcional, realizable y montable. Constando de una red de sensores inalámbrica (WSN por sus siglas en inglés), compuesta de nodos distribuidos, estos nodos reportarán la información censada a un nodo recolector que será el encargado de alimentar el aplicativo de escritorio. En la red de sensores inalámbrica cada uno de sus nodos estará conformado por un Arduino UNO que a su vez tendrá un sensor DHT22: sensor de temperatura (°C) y humedad relativa (%), el cual tomará la

información del lugar de la gallina ponedora, además cada nodo poseerá un ventilador que pueda alimentarse a 5V, el cual en base a las dos variables captadas será encendido por el nodo para proteger al ave de las altas temperaturas y la humedad, y por último, cada Arduino UNO usará un módulo con tecnología Zigbee integrada, proveyendo la comunicación inalámbrica necesaria para el aplicativo de escritorio.

Las razones por las que se opta en un diseño en vez de una implementación, es que al ser un diseño, se evita costes de implementación que no se poseen al momento de ejecutar este informe. Otra razón es además, que se necesitaría visitar fincas dedicadas a la avicultura, las cuales requieren de un fuerte y complejo protocolo de higiene cada vez que se vaya a ingresar a sus instalación, esto, para evitar que las aves de los galpones puedan enfermar de algún ente externo. Esto dificultaría el poder avanzar rápidamente en el proyecto, por lo mencionado previamente. Una capa adicional de dificultad la agrega el hecho que, aunque haya menos casos incidentes, aun se reportan cifras por el virus SARS-CoV-2, situación a la que las fincas avicultoras tampoco son ajenas.

Que el sistema sea un diseño y no una implementación, no desmerita la calidad del producto a entregar, el cual, va a ser perfectamente simulable con herramientas de desarrollo tan profesionales como lo son: Proteus, Arduino IDE, NI LabVIEW.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de control electrónico para tratamiento del estrés por calor a gallinas ponedoras a través de una red de sensores inalámbricos y aplicativo de escritorio

Objetivos Específicos

Identificar las características medioambientales que afectan la producción eficaz avícola y las herramientas tecnológicas apropiadas para un desarrollo tecnológico.

Proponer los componentes y programación necesaria para la implementación tecnológica de una red de sensores inalámbrica WSN en el tratamiento del estrés de las aves en la producción avícola.

Realizar los diagramas y simulación en aplicativo LabVIEW para evaluar el funcionamiento de la propuesta tecnológica.

Marco Referencial

Antecedentes

De acuerdo con investigaciones previas y durante la ejecución de este proyecto, podemos mencionar algunos proyectos que se han acercado a traer una propuesta de similares características a la de este diseño, o que aportan información relevante para la elaboración de este informe.

Experimento a 300 Gallinas con Ventilación De Distintas Velocidades

Se puede mencionar el experimento que se realizó con 300 gallinas ponedoras, adecuándolas en jaulas de $40 \times 28 \times 45$ centímetros de dimensión, en un sitio con temperatura y humedad controlada durante algunas semanas; Su intención era dilucidar el efecto de la ventilación en términos de la producción y calidad de sus huevos, mientras que eran expuestas a altas temperaturas ambientales (Ruzal et al., 2011).

Después de exponer a estas aves a 35°C con 50% de humedad relativa, en grupos diferentes recibiendo ventilaciones de: 0,5 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 3 m/s respectivamente, se logró hallar que:

La alta temperatura afectó la producción y calidad de los huevos, mientras que la exposición a flujos considerables de ventilación en las gallinas provocó una recuperación significativa de estos resultados con el tiempo (Ruzal et al., 2011). La exposición a la ventilación de 0,5 m/s afectó de manera negativa a las gallinas con el tiempo experimental. Algunos resultados logrados fueron:

La cáscara de huevo tuvo mayor densidad cuando las gallinas fueron expuestas a 2.0 m/s y 3.0 m/s, que a 0,5 m/s

El calcio en la cáscara de los huevos fue mayor en las gallinas que estuvieron fueron expuestas a 2.0 m/s y 3.0 m/s, que a 0,5 m/s

El mayor consumo de agua y alimento se presentó en gallinas expuestas a 2.0 m/s y 3.0 m/s, más que en aquellas a 0,5 m/s (Ruzal et al., 2011).

Logrando efectos tan positivos en las gallinas del estudio, podemos corroborar la importancia de una ventilación hacia estas aves.

Caso De Automatización De Temperatura Para Galpón En Finca Avícola

Un par de estudiantes de la universidad Santo Tomás para su tesis de grado, desarrollan un sistema de control de temperatura para un galpón de aves de corral en una granja avícola de la región del Huila, tomando como eje el control que se pueda efectuar a la temperatura del galpón (Coy Sierra & Daza Leguizamon, 2019). Este sistema implementado por ellos hace uso de otro tipo de materiales distintos a los que se usarán en este proyecto de grado, no reparando en gastos a la hora de ser implementado, porque que iba dirigido a una granja avícola comercial. El sistema consta de un controlador PID de temperatura conocido como TC4S, dicho controlador, que tomará mediciones de esta variable y, teniendo un Set Point anteriormente programado permite establecer la temperatura ideal deseada para el galpón, mandando una señal cada vez que la temperatura captada por sensor sobrepasa a la del Set Point, y así tomar medidas correctivas. A través de contactores, el controlador PID puede accionar ventiladores que funcionan a 440V y foggers (aspersores para intervenir temperatura o humedad del lugar) durante aproximadamente 5 a 7 minutos de acuerdo a ciertos días de la semana, como a su vez un motor que subirá o bajará una cortina que apoye el sistema de ventilación.

Es un sistema que funciona bien, y mediante este proyecto presentado por estos estudiantes, podemos concluir que es un caso donde se usa material correcto, pero costoso,

donde la solución es alcanzada sin escatimar en gastos, caso contrario a lo buscado en el presente proyecto de grado, pero que agrega una perspectiva de solución diferente.

Automatización De Planta Avícola

Una estudiante de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas también se plantea la elaboración de un sistema automatizado para pollos de engorde, que vaya enfocado a pequeños productores. Este sistema cuenta con sensor detector de lluvia, sensor de temperatura y humedad relativa, un sensor de distancia con ultrasonido, un temporizador y un motor que sirva de actuador por el sistema embebido (Galeano, 2018). Este proyecto para la extensión de sus aplicaciones usa un sistema embebido similar a un Arduino, en este caso, un *PSoC 5LP* que previamente programado y conectado a los sensores previamente comentados logra automatizar de manera muy eficiente una granja avícola; A continuación se explica algunas de las tareas que realiza este sistema:

A través del sensor de lluvia y el sensor de temperatura y humedad relativa, se puede evaluar la condición climatológica del galpón, para proceder con el sistema de ventilación (el cual en este caso, es de ventilación natural), porque el autor expresa la importancia de estos valores para el recibimiento de las aves a él.

De acuerdo a condiciones de horario que tiene en cuenta el temporizador, el sistema embebido accionará también el sistema de ventilación del galpón.

Haciendo uso del sensor de distancia de ultrasonido, se puede evaluar el nivel de llenado de la comida de las aves en el galpón, teniendo así información que permite automatizar el proceso de alimentación (Galeano, 2018).

El sistema de este estudiante en particular permite tener un acercamiento positivo a la elaboración de este proyecto de grado, puesto que evidencia la facilidad de control a través de sensores con un sistema embebido relativamente sencillo y de fácil adquisición.

Marco Legal

Es una muy buena práctica en este tipo de proyectos consultar con qué legislación se cuida a las aves a nivel nacional. Dado que las aves están constantemente siendo criadas para obtener su carne o productos, lo mejor es que haya una barrera de leyes que las cobije. Las gallinas ponedoras, siendo los animales delicados que son, deben permanecer bajo ciertas condiciones que les afecten para bien y también los lugares que se construyan para ellas, deben estar fijados bajo ciertos parámetros, y en Colombia se tienen ciertas leyes que nos servirán para entrar en contexto.

Legislación Nacional

Analizando el marco legal de Colombia, contamos en nuestro país con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), quien tiene la responsabilidad de proteger la sanidad agropecuaria del país, dicho instituto previendo cualquiera introducción o propagación de enfermedad que puedan hacer daño a aves y otros animales domésticos de importancia económica a nivel nacional, ha formulado la *resolución 3651* del 2014, redactando una larga lista de requisitos y otras disposiciones hacia granjas que quieran certificarse como bioseguras.

El Instituto Colombiano Agropecuario (2014), dispone en el *capítulo II: Granjas avícolas bioseguras de postura y/o levante* artículo 4.3.8 el siguiente título: “Ventilación natural o artificial en todas las áreas o secciones” mostrándonos así que incluso hace parte de la normativa nacional para granjas, el debido cuidado de la ventilación para las aves.

El contexto por tomar en cuenta es aquel en que la realización de este proyecto va dirigido a aquellas personas que no tienen a su cuidado miles de gallinas en un gran galpón abierto bajo techo, sino, en pequeños galpones de tipo jaula donde la gallina ponedora pueda pasar su tiempo y depositar sus huevos. Es importante mencionar esto por la razón de que hay otras maneras de ventilar un galpón, como la ventilación tipo túnel, para aquellos grandes galpones que pueden almacenar fácilmente 1000 gallinas o más a su vez.

Fundamentos

Las siguientes definiciones serán necesarias para continuar con el desarrollo del sistema a proponer en este proyecto.

Arduino

Aguayo (2022a) señala que “Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios”

Arduino IDE

Aguayo (2022b) también declara que:

El IDE es un conjunto de herramientas de software que permiten a los programadores desarrollar y grabar todo el código necesario para hacer que nuestro Arduino funcione como queramos. El IDE de Arduino nos permite escribir, depurar, editar y grabar nuestro programa (llamados “sketches” en el mundo Arduino) de una manera sumamente sencilla, en gran parte a esto se debe el éxito de Arduino, a su accesibilidad

Shield Arduino

Por último, Aguayo (2021) añadiría con respecto a las shield que:

Un “shield” es simplemente una placa de circuito impreso que se coloca sobre la placa Arduino y se conecta a ella mediante el acoplamiento de sus pines sin necesidad de

alguna otra conexión externa. Su función es de actuar como una placa complementaria, ampliando las capacidades de la placa Arduino Base

LabVIEW

National Instruments (s. f.-a) detalla que “LabVIEW es un software de ingeniería de sistemas para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos”.

Proteus

Hubor (s. f.) precisa que:

Proteus es una aplicación para la ejecución de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño del esquema electrónico, programación del software, construcción de la placa de circuito impreso, simulación de todo el conjunto, depuración de errores, documentación y construcción.

Red De Sensores Inalámbricos

Pinto et al. (2012) manifiestan que:

las redes de sensores inalámbricos (WSN), estas han recibido una gran atención en los últimos años desde los puntos de vista académico e industrial gracias a los avances de la tecnología, en relación con los micro-sensores, redes inalámbricas y el procesamiento de dispositivos embebidos. Las WSN están constituidas por sensores autónomos distribuidos espacialmente con el propósito de ser capaces de comunicarse entre sí con un mínimo de consumo de energía y entregando su colección de datos. En el contexto del Internet de las cosas (IoT) juegan un papel importante para incrementar la ubicuidad de las redes

Tecnología Zigbee

DIGI (s. f.) con respecto a la definición de Zigbee, sustenta que:

Zigbee es una tecnología inalámbrica desarrollada como un estándar global abierto para abordar las necesidades únicas de las redes inalámbricas de IoT de bajo coste y baja potencia. El estándar Zigbee se basa en la especificación de radio física IEEE 802.15.4 y opera en bandas sin licencia como 2,4 GHz, 900 MHz y 868 MHz.

Tipos de dispositivos lógicos Zigbee

De acuerdo a investigaciones, se pueden encontrar 3 categorías de dispositivos lógicos en sistemas Zigbee. Ellos son: *Coordinador*, *Router* y *Dispositivo final* (Ashok Somani, 2012).

Explicados a continuación:

Coordinador (Zigbee Coordinador, ZC): Compone a la raíz de la raíz y puede funcionar de puente en otras redes. Hay un único coordinador por cada red y es el responsable de iniciar la red y escoger los parámetros de red como la frecuencia del canal y otros parámetros adicionales para funcionamiento de la red.

Router (Zigbee Router, ZR): Hace las veces de nodo intermedio simplemente transmitiendo datos de otros dispositivos. Este dispositivo tiene la cualidad de conectarse a redes ya existentes, aceptar conexiones desde otros dispositivos como también, ser retransmisor si así se le configura.

Dispositivo final (Zigbee End Device, ZED): Este último dispositivo tiene una funcionalidad recortada, pues puede comunicarse con dispositivos Coordinador y Router pero no a otros dispositivos. Tiene la virtud de que puede pasar en un estado de bajo consumo durante mucho tiempo, lo que le brinda ventaja si se usa a baterías.

Topologías De Red Zigbee

También Ashok Somani (2012) relataría que hay 3 diseños de topologías:

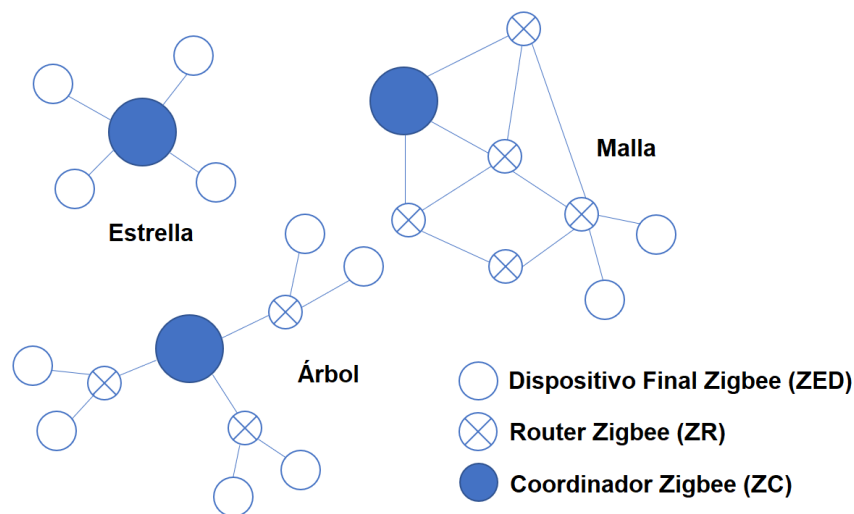
Topología en estrella: Ubica al coordinador en el centro de la red, teniendo a los demás dispositivos como satélites alrededor de él.

Topología en árbol: Se basa en un diseño de ramas, donde el Coordinador será la raíz del árbol del que se desprenden la unión de los demás dispositivos.

Topología de malla: Es una topología donde todos los dispositivos están conectados unos a otros en una gran red punto a punto, exceptuando los Zigbee de dispositivo final (ZED).

Figura 1

Topologías de red para Zigbee



Fuente. Creación del autor

IEEE 802.15.4

Con este estándar se define la capa física y la subcapa de control de acceso al medio (MAC), para conectividades inalámbricas de una baja tasa de velocidad de datos con dispositivos que pueden ser: Fijos, portátiles y móviles sin batería o unos requisitos muy bajos de consumo de carga de batería (IEEE S.A., 2020).

Metodología

Metodología Para El Diseño Del Sistema Electrónico

El elaborar un sistema electrónico que sea capaz de regular térmicamente gallinas ponedoras en un ambiente y temperaturas tan fuertes como suelen ser las de la costa colombiana o el centro del país es todo un reto.

Para la elaboración de la metodología de esta propuesta, se tomará de referencia la metodología presentada por Mora (2020). Esta metodología conviene al ser desarrollado todo el proceso por una sola persona, como es el caso de este proyecto, y también confiere orden y facilidad al no requerir trabajar en varias cosas a la vez, sino, de manera serial, un paso a la vez.

Este proyecto aplicado tiene un enfoque metodológico mixto, en un primer momento se aborda desde un análisis cualitativo necesario para la caracterización de las variables medioambientales inmersas dentro de este eje temático, y de manera subsecuente se aborda desde un análisis cuantitativo, en el que se valoran las variables dentro del escenario propuesto, adaptando la solución a las métricas de calidad que permiten el bienestar de las gallinas ponedoras, a través de las tecnologías mencionadas a lo largo de este proyecto.

Desde una perspectiva operacional se plantea una matriz metodológica en la que se estructura unas fases que relacionan los objetivos específicos y actividades relacionadas para su cumplimiento.

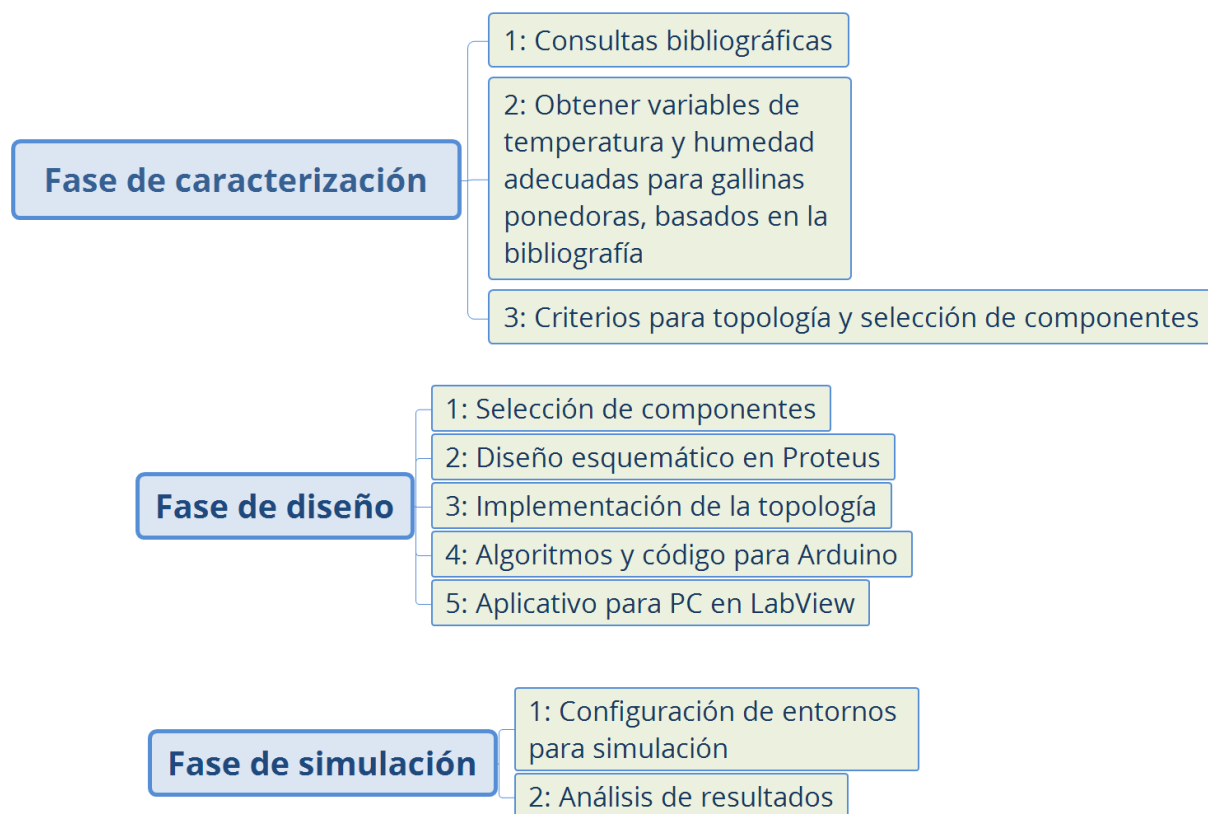
Tabla 1*Metodología para proyecto*

Fases	Objetivo	Actividades
1. Caracterización	Identificar las características medioambientales que afectan la producción eficaz avícola y las herramientas tecnológicas apropiadas para un desarrollo tecnológico.	Consultas bibliográficas en bases de datos especializadas Determinar variables de temperatura y humedad que afecten a las gallinas
2. Diseño	Proponer los componentes y programación necesaria para la implementación tecnológica de una red de sensores inalámbrica WSN en el tratamiento del estrés de las aves en la producción avícola	Seleccionar componentes a usar en cada nodo Diseñar esquemático y topología de red que conviene al diseño. Escribir código para Arduino y aplicativo de PC.
3. Simulación	Realizar los diagramas y simulación en aplicativo LabVIEW para evaluar el funcionamiento de la propuesta tecnológica.	Configuración de entornos para simulación Análisis de resultados

De manera visual, la metodología a usar a lo largo del desarrollo del proyecto será la siguiente:

Figura 2

Metodología para elaboración de proyecto



Fuente. Basada en metodología aplicada por Mora (2020).

Fase de caracterización

Consultas Bibliográficas En Bases De Datos Especializados

A partir del momento de tener clara la idea de la solución, el cual es desarrollar un sistema electrónico para la gestión del estrés por temperatura, se procede a acercarse a material de investigación, libros, trabajos de grados, leyes nacionales y afines que fueran relacionados con la calidad de vida de las gallinas ponedoras y su manejo ante el estrés causado por motivos ambientales. Mucho de lo hallado en el estado del arte de la temática ha sido plasmado partes de la documentación como: marco teórico, justificación y otros, pero lo más técnico y medular irá

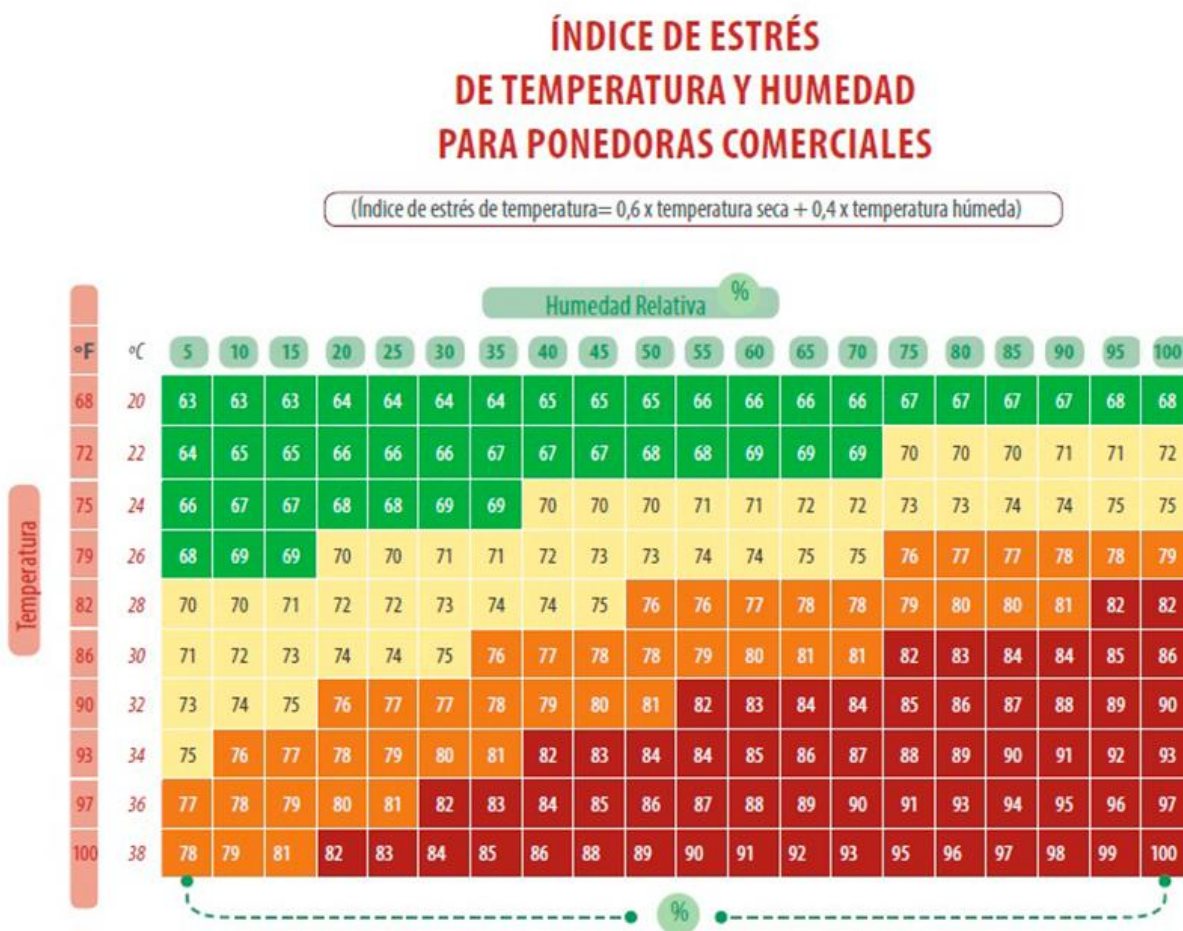
siendo condensado en las siguientes secciones para hallar el diseño final, el cual es la causa de este documento y proyecto.

Variables De Temperatura Y Humedad Que Afectan A Las Gallinas

Es de suma importancia que se sepa cuáles son los valores que más pueden afectar a estos delicados animales, y dos de ellos muy importantes son la temperatura y la debida humedad relativa del lugar donde ellas estén. Para continuar en el proyecto debemos apuntar a variables en estos valores para que sepamos que estamos haciendo las cosas correctas en cuanto a confort y bienestar para el ave, por eso, uno de los datos a destacar de la consulta al estado del arte de esta temática viene de la gráfica de Xin & Harmon (1998), donde podemos ver la relación de temperatura y humedad con el bienestar de la gallina reflejada en un índice de estrés de temperatura y humedad (THI por sus inglés de *Temperature-Humidity Index*). Este dato será vital para aplicar las condiciones a la programación de cada Arduino para que se accione el actuador, para aliviar las condiciones de estrés de las aves, porque a través de él, ya se toman acciones para cuidar gallinas a lo largo del mundo.

Figura 3

Adaptación del índice de estrés por calor de temperatura y humedad para aves ponedoras



Nota. Adaptación del índice de estrés por calor de temperatura y humedad para aves ponedoras propuesto por Xin, Hongwei y Harmon, Jay D., “Livestock Industry Facilities and Environment: Heat Stress Indices for Livestock [Imagen], por AviNews, 2011, AviNews.

Dentro de la investigación se deja una serie de recomendaciones para las acciones a tomar, a partir del índice de estrés en que se encuentre el ave en ese momento.

Zona cómoda: Índice de estrés <70

No es necesario tomar acciones. Es un buen momento para prepararse por si llegan condiciones adversas en el futuro.

Alerta: Índice de estrés: 70 – 75

A partir de aquí se comienza a tomar acciones y medidas para reducir el estrés por calor en el ave o lote de aves. Aumentar la velocidad de ventilación, encender ventiladores de enfriamiento donde sea aplicable. Estar pendientes si las aves hacen muestras y señas de estrés por calor como abrir el pico y habilitar el agua para ingesta de sobra.

Peligro: Índice de estrés: 76 – 81

Aplicar medidas de enfriamiento adicionales para reducir el estrés por calor. Aumentar la velocidad de ventilación sobre las aves, mojar con nebulizadores a las aves si hay condiciones de ventilación de sobra, ajustar dieta de las gallinas para igualar la disminución que pueda haber en el consumir de sus alimentos. Incluso recomiendan purgar tuberías de bebederos con agua fría regularmente.

Emergencia: Índice de estrés > 82

Evita transportar animales que estén pesados dentro del lote. En adición a las medidas listadas arriba en las otras bandas de índice de estrés por calor retirar la alimentación durante las partes más calurosas del día. Reducir la luz en aquellos galpones de luz controlada para reducir la actividad animal y así contribuir a la producción de calor.

Adicional y con respecto al THI, la investigación realizada por Mader et al. (2006), sobre la influencia de los factores ambientales en animales de ganado de corral de engorde, logró popularizarse en diversos medios trayendo más luz y estudios a este índice; También, Termotecnica Pericoli (2022) publicaría la siguiente fórmula para hallar el THI, la cuál será la que usaremos para programar los instrumentos a lo largo del proyecto.

$$0.8 * T + RH(T - 14.4) + 46.4$$

Donde T = Temperatura en °C

Donde HR = Humedad relativa expresada en porcentajes del 0 al 1, por ejemplo: 0.75 = 75%

Por último, estos datos dejan claro que la ventilación no es el único medio que se usa para mitigar los efectos del estrés por calor. En ese sentido, el proyecto puede crecer mucho con sistemas de riego por ejemplo, que sea aplicado sobre el techo del galpón donde esté el ave, sistema de bebederos que sean purgados por agua fría, sistemas de humidificación con nebulizadores controlados por la temperatura del lugar. Sin embargo, la adición de estas características está por fuera del alcance de este diseño, puesto que aplicaremos una solución basada en ventilación a la problemática debido a la facilidad de documentación en este sector, no obstante, reitero el hecho de este proyecto puede ser ampliado a tales características por personal con más conocimiento afín a la vida tecnológica del campo avícola.

Criterios para la topología de red que conviene al proyecto

Comparando las distintas topologías disponibles de redes Zigbee, se decide escoger una red que apoye los pocos dispositivos a usar en la red, que en su mayoría se basará en equipos remotos que enviarán la información (nodos de sensores) al nodo Coordinador, y éste, de último enviará la información tomada al PC que tendrá el software de monitoreo, por lo tanto usaremos una topología estrella. Detallando aún más en Zigbee, como pudimos ver en referencias adjuntas en el marco teórico conceptual, los miembros de la red tienen nombres específicos de acuerdo con la función que cumplen, y en este caso, en nuestra red usaremos:

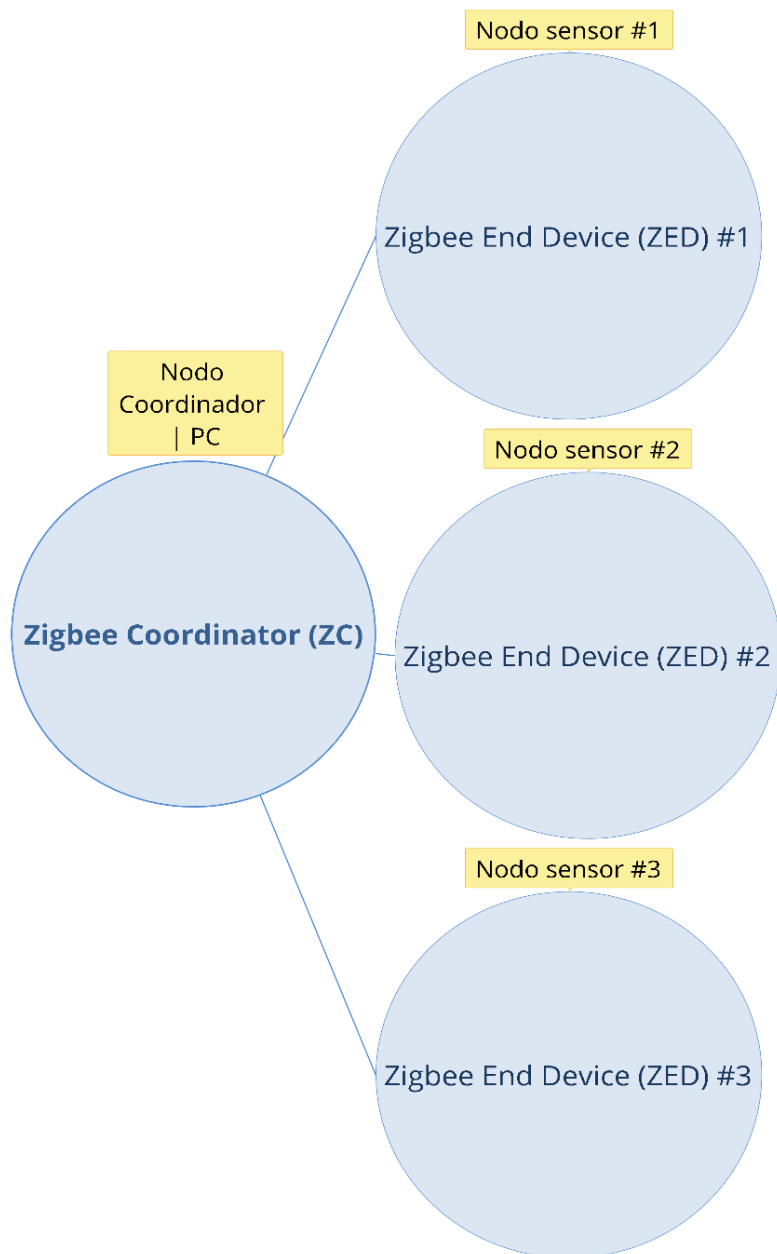
1 Zigbee Coordinator (ZC): Será el dispositivo que conforme el ***nodo Coordinador / PC***

4 Zigbee End Device (ZED): Serán los 3 ***nodos de sensores*** a funcionar, y el equipo que recibirá la información para transmitirla al PC con software de monitoreo.

Quedando la red Zigbee de sensores inalámbricos en nuestro proyecto representada de la siguiente manera:

Figura 4

Topología de red de referencia conveniente al proyecto



Fuente. Creación del autor

Criterio Para Selección De Componentes Por Usar En Cada Nodo

Cada nodo a componer el diseño de la solución va a utilizar ciertos componentes que lo harán eficaz para trabajar en conjunto y brindar el bienestar a las aves en sus momentos de estrés térmico, a su vez, los componentes también se elegirán por su relación calidad/precio y tamaño.

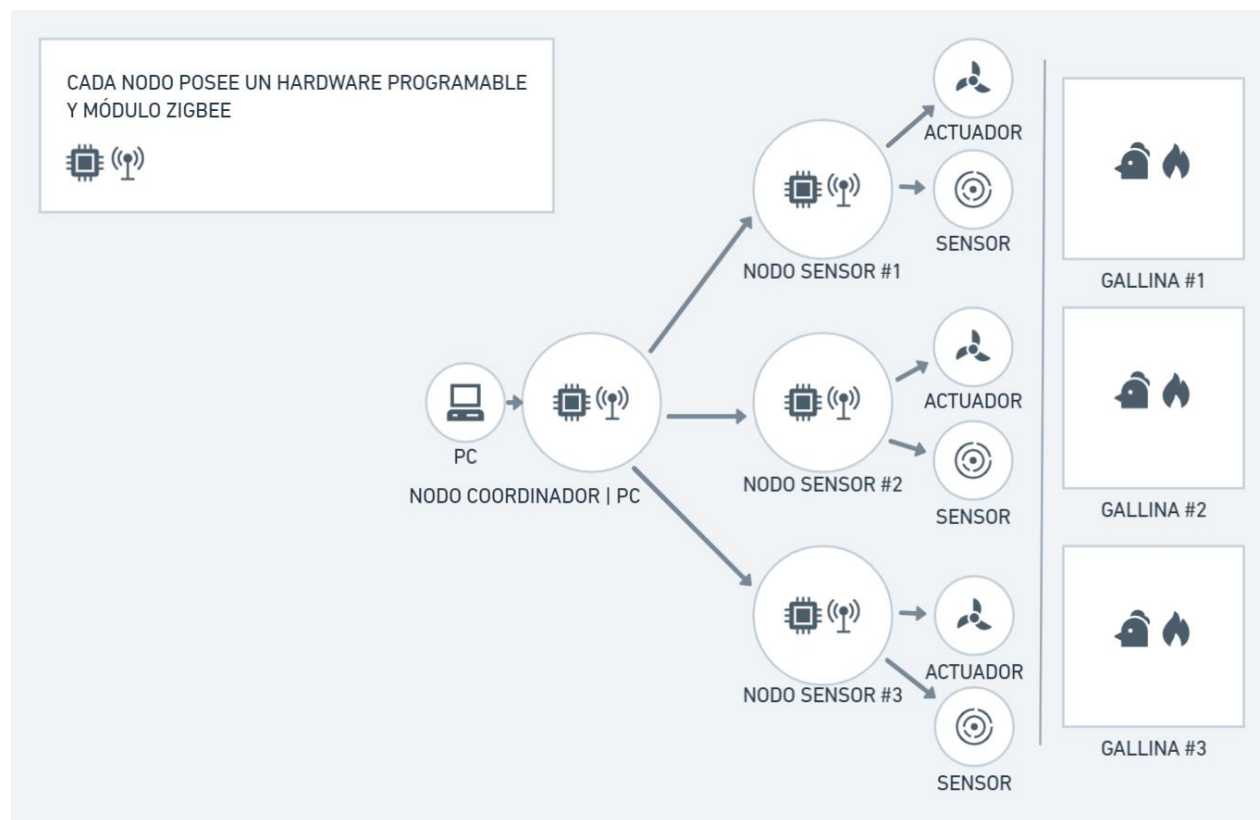
Por lo tanto, a través de la investigación y debido a la topología antes mencionada, se han seleccionado los siguientes componentes de cada nodo:

Nodo Coordinador / PC: Hardware con chip programable, módulo Zigbee y PC

Nodo de sensor: Hardware con chip programable, módulo Zigbee, sensor de temperatura y humedad relativa y actuador (ventilador en este caso)

Figura 5

Prototipo de diseño con Componentes previstos en la metodología del proyecto



Fuente. Creación del autor

Placa De Hardware Programable

Esta será la parte medular y núcleo de la solución a diseñar, puesto que será la encargada de almacenar el algoritmo que permita la verificación de condiciones en el ambiente a través de los sensores que estarán ubicados en el lugar de las gallinas, a su vez, deberá tener la capacidad de adaptársele módulos de conectividad Zigbee para poder instaurar la red de sensores inalámbrica y también, la facilidad de aterrizar esta información a un PC. Con el paso de los años, ya hay en el mercado mucha aparición de estas placas en distintos modelos, tamaños y capacidades.

Módulo Zigbee

Por lo visto en el mercado de placas de hardware programables, lo más normal es que la placa que se use en la solución no tenga incorporada de fábrica un componente de Zigbee, que permita la comunicación entre distintos componentes, pero hay en el mercado muchas alternativas para poder acoplar este tipo de tecnologías a las placas de hardware a usar, a través de extensiones del mismo hardware.

Sensor De Temperatura y Humedad

Este componente será vital para la ejecución del proyecto, porque será quien haga contacto con las variables de temperatura y humedad en el ambiente de las gallinas. Se busca que dicho componente sea pequeño, poco invasivo y se acople de manera perfecta a la placa de hardware sin inconvenientes.

Actuador

El actuador en este sistema será un ventilador que será activado a medida que el algoritmo de la placa de desarrollo proporcione las condiciones adecuadas en las que activarse. Deberá cumplir con los requisitos de ser:

Económico

Poco invasivo

Consumo energético bajo

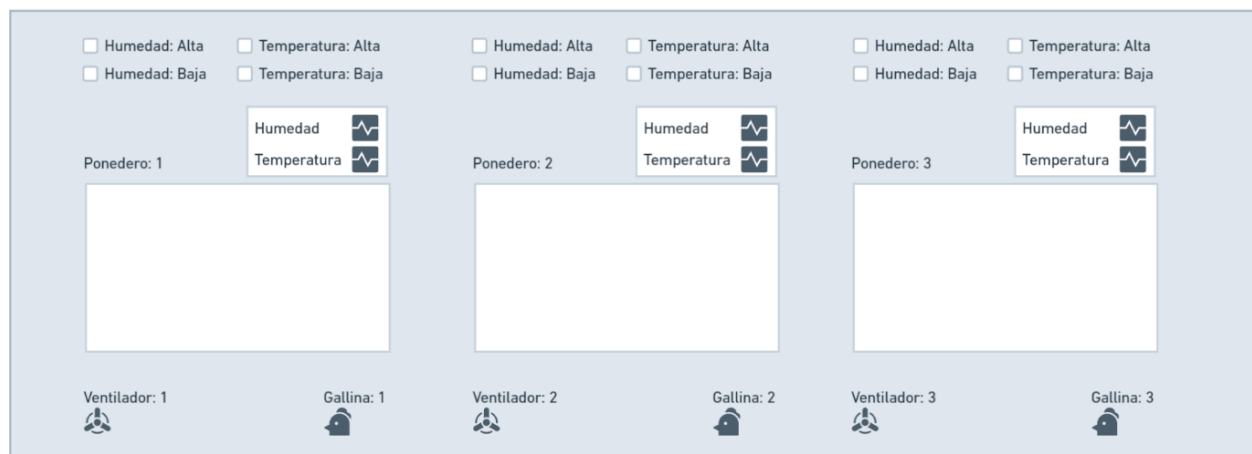
PC y Software De Monitoreo

El PC por usar con el software de monitoreo, deberá usar un aplicativo que permita monitorizar en tiempo real a las gallinas y así conocer estados de alarma y condiciones tanto adversas como favorables de las aves.

Los requisitos adecuados para correr el programa irán en función del software a usar o desarrollar, los cuales, se esperan se ubiquen dentro de un rango aceptable a la mayoría de los equipos gama media-baja del mercado. La siguiente es una imagen de referencia de cómo podría ser:

Figura 6

Interfaz de referencia para aplicativo de PC del proyecto



Fuente. Creación del autor

Fase De Diseño

En este apartado se hará uso de la metodología planteada, junto con las ideas que fueron de prototipo, dando implementación a la elección de materiales, programación de cada placa de hardware, y se hacen menciones al apartado de simulación, la cual se profundizará más adelante en el último capítulo del proyecto aplicado.

Elección De Componentes y Características Técnicas

Arduino UNO Rev3

Se espera de cada nodo que tenga una base de hardware robusta y que sea capaz de ser programable, que pueda contener módulos que proporcionen conectividad Zigbee y a su vez, puedan interactuar con sensores y actuadores, manteniendo un bajo consumo, sean pequeños y económicos. Para el desarrollo de la propuesta, se buscó una placa de desarrollo que provea un microcontrolador que permita ser programado y a su vez, pueda tener entradas digitales o analógicas para conectar sensores y actuadores como el ventilador. Se escogió al Arduino UNO tiene una fuerte relación calidad/precio por la cantidad de pines y el procesamiento de la placa.

Figura 7

Placa de hardware programable - Arduino UNO



Nota. Arduino UNO Rev3 [Imagen], por Arduino Store, (s. f.), Arduino Store USA

Las especificaciones técnicas de la placa Arduino UNO, son las siguientes (Arduino Uno Rev3, s. f.):

Voltaje de operación: 5V

Voltaje de entrada (recomendado): 7 – 12V

Voltaje de entrada (Límite): 6 – 20V

Pines digitales de entrada y salida: 14 (6 de ellos proveen salida PWM)

Pines de entrada análogos: 6

Largo: 68.6 mm

Ancho: 53.4 mm

Peso: 25 g

Es ligero, ocupa poca dimensión y además, el brindar una operación a voltajes tan bajos, con tantos pines digitales y análogos a disposición, con un único puerto serie, lo hacen ideal para el funcionamiento del proyecto, como también a su posible adición de más funciones.

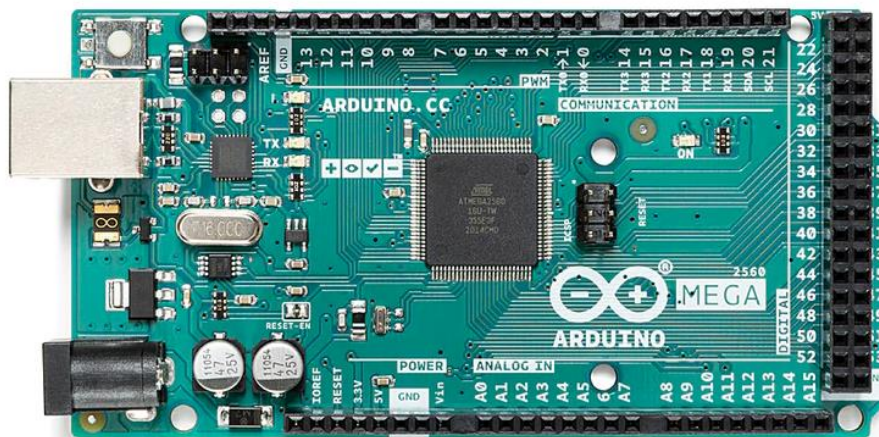
Arduino MEGA 2560 Rev3

En la elección del hardware programable para el *nodo Coordinador / PC* se estuvo a punto de seleccionar un Arduino UNO Rev3 de nuevo, pero hubo un limitante y eran la escases de puertos serial del Arduino anterior. *El nodo Coordinador* deberá recibir información de su módulo con tecnología Zigbee, esto, lo hará a través de un puerto serie como en el caso del *Arduino UNO*, pero deberá comunicarse vía USB con el PC que tendrá el aplicativo de monitoreo en PC, lo cual supone más puertos para funcionar. El *Arduino MEGA 2560 Rev3* viene con 4 puertos serie de fábrica, uno de ellos está en el pin 0 y 1 de la placa, el cual tiene la funcionalidad de la conexión USB de la placa (Arduino Mega 2560 Rev3, s. f.).

Figura 8

Placa de Arduino MEGA 2560 Rev3

<https://store-usa.arduino.cc/collections/boards/products/arduino-mega-2560-rev3>



Nota. Arduino Mega 2560 Rev3 [Imagen], por Arduino Store, (s. f.), Arduino Store USA

Las especificaciones técnicas de la placa Arduino MEGA, son las siguientes (*Arduino Mega 2560 Rev3*, s. f.):

Voltaje de operación: 5V

Voltaje de entrada (recomendado): 7 – 12V

Voltaje de entrada (Límite): 6 – 20V

Pines digitales de entrada y salida: 54 (15 de ellos proveen salida PWM)

Pines de entrada analógicos: 16

Largo: 101.52 mm

Ancho: 53.3 mm

Peso: 37 g

Modulo Zigbee y Shields Xbee

La placa de hardware y desarrollo libre *Arduino UNO*, no cuenta con los pines estructurados y puestos en orden para instalar un módulo Zigbee de fábrica, por lo tanto,

hacemos uso de esta extensión la cual se encarga de ensamblar al módulo que instalaremos y brindarle así alimentación y conexiones necesarias para la lógica de su funcionamiento, esta adición es conocida como Shield. La Shield por sí misma no posee la cualidad de brindar comunicación inalámbrica de ningún tipo, pero el *módulo Zigbee Xbee* sí, el cual posee radio y antena adecuados para establecer conexión bajo protocolo Zigbee, poseyendo también un pequeño chip integrado que contiene el firmware para trabajar sin problemas.

Figura 9

Arduino con una shield en su parte superior que alberga un módulo Zigbee en su punta



Nota. Shield XBee V2 para Arduino [Imagen], por RobotShop, (s. f.), RobotShop

Sensor DHT22

El sensor DHT22 se ha caracterizado por ser un componente electrónico sencillo, de poco tamaño, bajo costo y gran prestación, permitiendo exactamente lo querido en este proyecto, que es tener temperatura y humedad relativa en un mismo sensor, el cual, tiene salida digital para conectar directamente en nuestra placa Arduino UNO.

Figura 10

Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22



Nota. Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302) [Imagen], por Naylamp Mechatronics. (2021).

Naylamp Mechatronics.

Ventilador 5V

La elección de un ventilador tan sencillo se basa en el comportamiento al que usualmente están relacionados estos últimos en sus ambientes de trabajo, es decir, los ventiladores de 5V suelen estar ubicados en ambientes altamente estresados por temperatura como son los interiores de las computadoras, amplificadores, o directamente al lado de unidades de procesamiento que emiten el consumo de su corriente eléctrica en forma de calor, dando esto temperaturas cercanas a los 60°C e incluso más, por lo que son ideales para una solución como la aquí planteada, al tratarse de temperaturas un poco más bajas para las gallinas ponederas.

Figura 11

Ventilador 5V de referencia



Nota. Noctua NF-A4x10 5V, Ventilador Silencioso, 3 Pines, Versión de 5V (40x10 mm, Marrón) [Imagen], por Amazon.es, (s. f.), Amazon.es

PC y Software De Monitoreo

El PC a usar por el software de monitoreo, deberá usar una versión del software LabVIEW para funcionar, en el que se ha diseñado todo el programa de monitoreo en tiempo real. En este caso, usaremos la versión “*Community Edition*” que no necesita una licencia vitalicia para funcionar y proveerá la base suficiente para la ejecución del software que monitoree las variables de las aves (National Instruments, s. f.-a).

Los requisitos adecuados para correr el programa son (National Instruments, s. f.-a):

CPU: Pentium 4M (equivalente o posterior) 32-bit, Pentium 4 G1 64-bit

RAM: 1GB

Resolución de pantalla: 1024 x 768 pixeles

Sistema operativo: Windows 10/8.1/8/7 SP1 (32-64bit)

Espacio en disco: 5GB

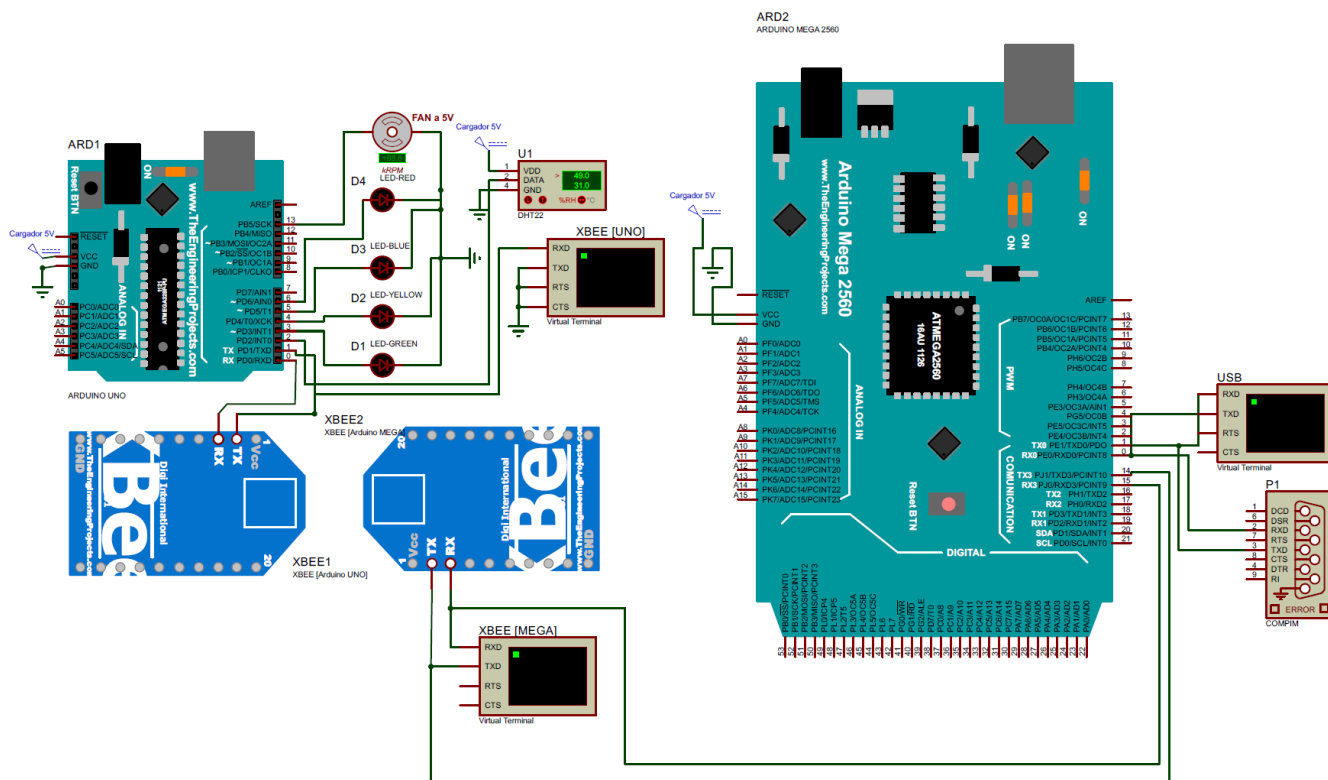
Planos Esquemáticos Del Diseño

El siguiente esquemático fue elaborado teniendo en cuenta los componentes previamente detallados, con el fin tanto de que la propuesta del diseño, como la simulación, puedan funcionar. Como algo simulable, debió apoyarse en distintas herramientas que brindaran monitoreo en tiempo real a través de distintas interfaces, como por ejemplo, el software de monitoreo realizado en LabVIEW, el mismo Proteus, y una herramienta de comunicación serial para comunicar ambos programas mientras la simulación se llevaba a cabo.

El esquemático a usar es el siguiente:

Figura 12

Esquemático del diseño realizada en Proteus a blanco y negro



Fuente. Creación del autor

Cargador 5V: Es una fuente de 5 voltios (que puede ser un cargador) que alimenta al Arduino UNO.

ARD1: Es el Arduino UNO usado para este diseño.

ARD2: Es el Arduino MEGA usado para el diseño.

U1: Es el sensor DHT22 conectado al puerto 2 del Arduino UNO, que en Proteus puede manejarse para detallar las temperaturas y humedades relativas que se quieren usar para la simulación.

Fan a 5V: Conectado al puerto 13 en una salida digital del Arduino UNO, es la simulación del ventilador que representa al actuador en este sistema. Dentro de Proteus este fan puede mostrar las revoluciones por minuto a las que se mueve este actuador.

XBEE1: Es el módulo Xbee que proveería tecnología Zigbee conectado a los puertos 0 y 1 del Arduino UNO, quienes serán los encargados de enviar la información al nodo Coordinador | PC.

XBEE2: Es el otro módulo Xbee que se acopla al Arduino MEGA, a su vez conectado a los puertos 14 y 15 (*Serial3*) de éste. Para recibir las lecturas de los nodos de sensores.

D1: Led verde que indica el THI en Zona cómoda (THI menor a 70)

D2: Es el led amarillo que indica el THI en Alerta (THI entre 70 a 75)

D3: Led azul que muestra el estado del THI en Peligro (THI entre 76 a 81)

D4: Led de color rojo que indica THI en Emergencia (THI mayor a 82)

Virtual Terminal: Dentro del diseño hay 3 de ellos: Xbee [UNO], Xbee [MEGA] y USB.

Es un componente con el que podemos monitorear en tiempo real la información que módulos Xbee envían entre sí, adicional también sirve para monitorear el puerto USB del Arduino MEGA.

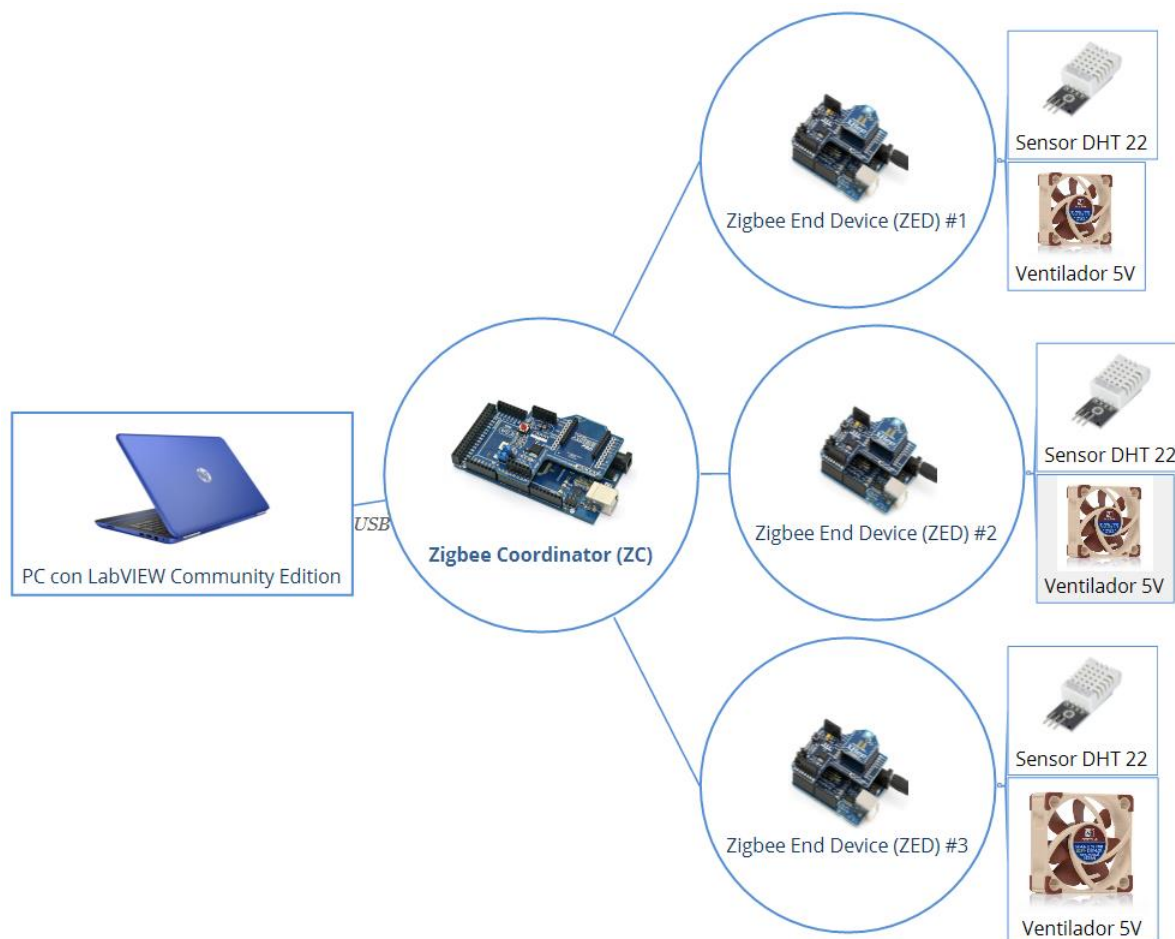
PI: Es un puerto serie que está conectado a los puertos 0 y 1 del Arduino MEGA, el cual recibirá la información enviada que dicho Arduino enviará vía USB al PC para su trabajo en LabVIEW.

Topología Con Componentes Seleccionados

La topología propuesta anteriormente, toma forma cuando se ha seleccionado previamente los componentes que harán parte del diseño final de la propuesta. La topología ya aplicada con los componentes comentados lucirá de la siguiente manera:

Figura 13

Topología con componentes seleccionados



Fuente. Creación del autor

Algoritmos y Código De Cada Nodo

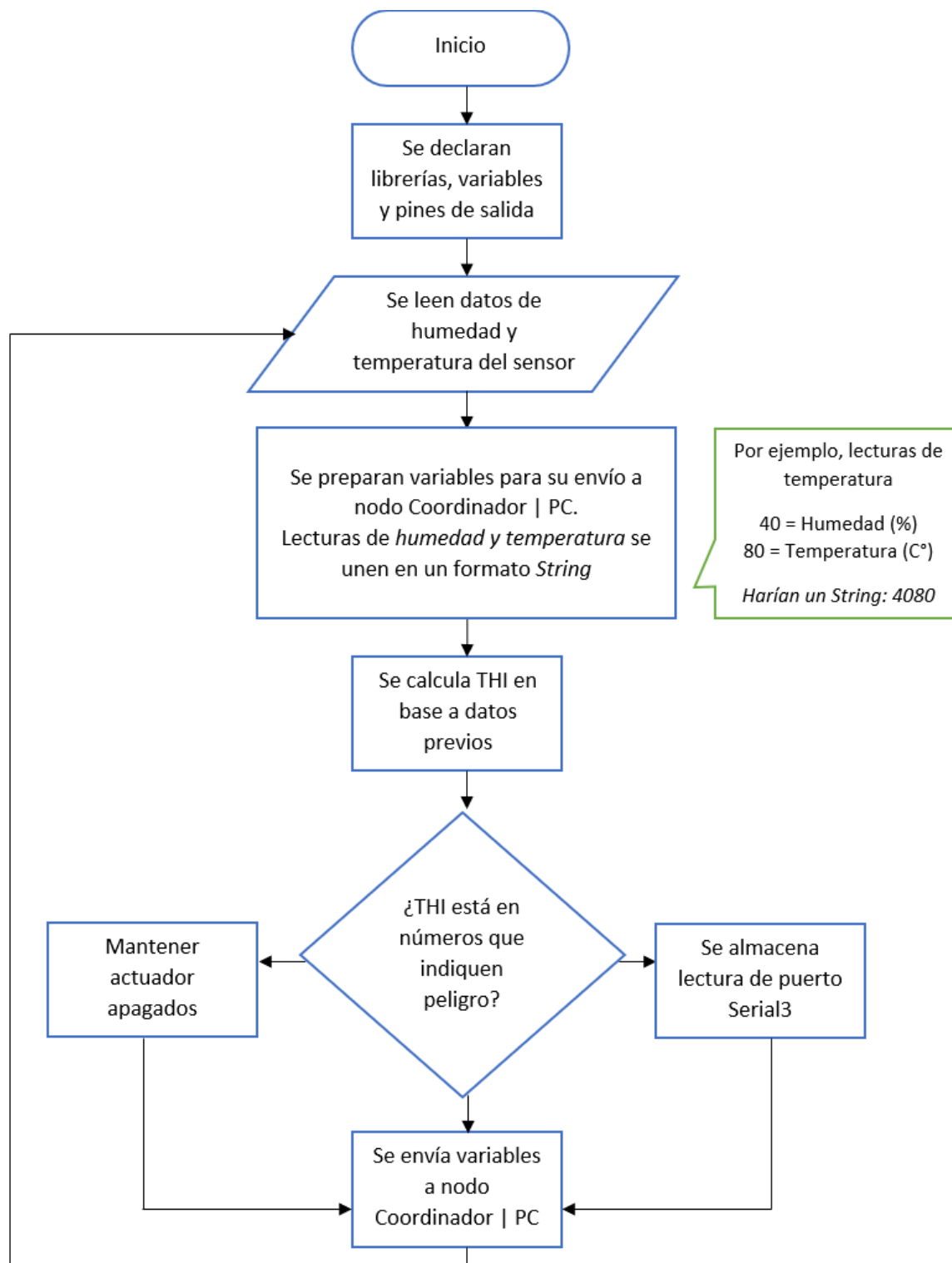
Cada nodo deberá tener una lógica en código dentro de su Arduino, que sirva para poder leer las variables, enviarlas o recibirlas y ejecutar acciones respecto al THI. A continuación, se muestra el diagrama de bloques de la lógica de negocio y el código en sí a lo largo del diseño.

Algoritmo Para Arduino UNO – Nodo De Sensores

El siguiente diagrama de flujo muestra la lógica a seguir por cada Arduino en el nodo de sensores. Se declaran variables, librerías y pines, se leen datos del sensor DHT22, esa lectura se prepara para ser enviada vía Xbee y también se calcula THI para tomar acciones con los actuadores; En este caso, el actuador es un ventilador a 5V.

Figura 14

Diagrama de flujo del código en cada nodo de sensores



Fuente. Creación del autor

Código Para Arduino UNO – Nodo De Sensores

```

//----- Se agregan librerías al proyecto

#include "DHT.h"           //Librería para sensor DHT

#define DHTPIN 2           // Pin donde está conectado el sensor

#define DHTTYPE DHT22     // Sensor DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

//----- Se declaran variables a usar

float THI;                //Variable flotante: THI Calculado

float h;                  //Variable flotante: Humedad del sensor

float t;                  //Variable flotante: Temperatura del sensor

int hi,ti;               //Variables "int" que se convertirán en String

String stringH, stringT, stringHT; //Strings que se enviarán a LabVIEW por puerto serial

void setup() {

    dht.begin();          //Se inicia sensor

    Serial.begin(9600);   //Se inicia puerto serial a 9600Baudios

//----- Se configuran pines como salida o entrada

    pinMode(13, OUTPUT); //Pin para salida del Ventilador 5V

    pinMode(6, OUTPUT);  //Pin para LED Rojo: Emergencia

    pinMode(5, OUTPUT);  //Pin para LED Azul: Peligro

    pinMode(4, OUTPUT);  //Pin para LED Amarillo: Alerta

    pinMode(3, OUTPUT);  //Pin para LED Verde: Zona cómoda

    pinMode(2, INPUT);   //Pin donde está el sensor DHT22

}

```

```

long tiempoUltimaLectura = 0;           //Para guardar el tiempo de la última lectura

void loop() {

//----- Lectura del Sensor

    If (millis() - tiempoUltimaLectura > 300) {

//----- Condicional que evalúa tiempo de lectura de sensores

        h = dht.readHumidity();           //Leemos la humedad desde el sensor DHT

        t = dht.readTemperature();        //Lectura de temperatura en grados Celsius °C

//----- Preparación de variables para envío por puerto serial

        hi = (int)h;                       //Convertimos variable float a int

        ti = (int)t;                       //Convertimos variable float a int

        stringH = (String)hi;              //Convertimos variable int a String (Humedad)

        stringT = (String)ti;              //Convertimos variable int a String (Temperatura)

        stringHT = stringH+stringT;

//String final que contiene ambas lecturas: Humedad y temperatura, en ese orden

//Y será dividida en dos en LabVIEW para su uso en software de monitoreo

//----- Cálculo del THI

        THI = (0.8*t) + ((h/100)*(t-14.4)) + 46.4; //Ecuación de THI

        THI = round(THI);                   //Se redondea a resultados en enteros

//----- Zona cómoda - LED Verde - Fan Off -----

if (THI < 70) {

    digitalWrite(3, HIGH);

    delay(20);

}

```

```
else {  
    digitalWrite (3, LOW);  
    delay(20);  
}  
  
//----- Alerta - LED Amarillo - Fan ON -----  
  
If (THI >= 70 && THI < 76) {  
    digitalWrite (4, HIGH);  
    digitalWrite (13, HIGH); //Encendido de ventilador  
    delay(20);  
}  
  
else {  
    digitalWrite(4, LOW);  
    digitalWrite(13, LOW);  
    delay(20);  
}  
  
//----- Peligro - LED Azul - Fan ON -----  
  
if (THI >= 76 && THI < 82) {  
    digitalWrite(5, HIGH);  
    delay(20);}  
  
else {  
    digitalWrite(5, LOW);  
    delay(20);}  
  
//----- Emergencia - LED Rojo - Fan ON -----
```

```

if (THI >= 82) {
    digitalWrite(6, HIGH);
    delay(20);
}
else {
    digitalWrite (6, LOW);
    delay(20);
}

//-----Enviamos las lecturas string por el puerto serial-----

    Serial.println(stringHT);

//Se envía el String que tiene ambas lecturas para que luego LabVIEW divida el string en dos
    tiempoUltimaLectura=millis();

//Actualizamos el tiempo de la última lectura para poder usar sensores de manera correcta
    }
}

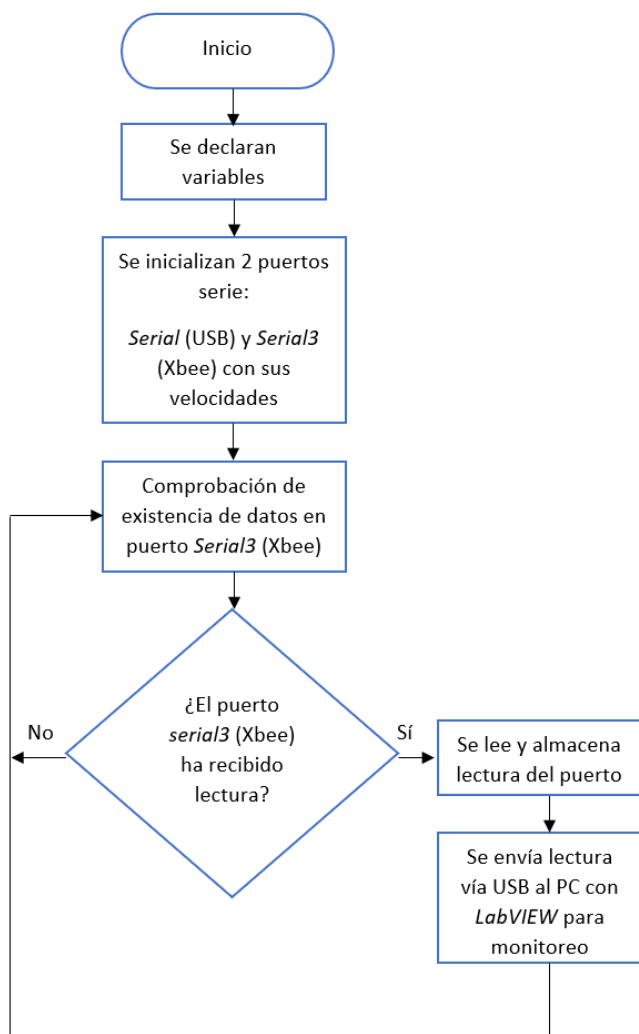
```

Algoritmo Para Arduino MEGA - Nodo Coordinador / PC

El siguiente es la lógica de negocio que contendrá el código del *Arduino MEGA* en el *nodo Coordinador / PC*. Se empieza iniciando variables y dos puertos serie; La elección de dicho *Arduino MEGA* se debe a tener más de un puerto serial, lo cual ayudará a usar, uno para recibir información a través del *módulo Xbee* y el otro para enviarla por el puerto USB del Arduino. Se comprueba la existencia de datos en el puerto que tiene al *módulo Xbee* y se procede a almacenar esa lectura y enviarla al puerto serial del USB en caso de que exista.

Figura 15

Diagrama de flujo del código en nodo Coordinador / PC



Fuente. Creación del autor

Código Para Arduino MEGA – Nodo Coordinador / PC

```

int ResultHT; //Variable que almacenará lectura

void setup() {
    Serial.begin(9600); //Iniciamos el puerto serial USB en 9600 baudios
    Serial3.begin(9600); //Iniciamos el puerto serial 3 en 9600 baudios
}
  
```

```

void loop() {
    if (Serial3.available() > 0) {           //Si existen datos disponibles los leemos
        ResultHT = Serial3.parseInt();       //Leemos la lectura enviada por el sensor
        delay(20);                           //Delay para regular lectura
        Serial.println(ResultHT);            //Envía lectura al PC y LabVIEW procesa
        delay(20);                           //Delay para regular envío
    }
}

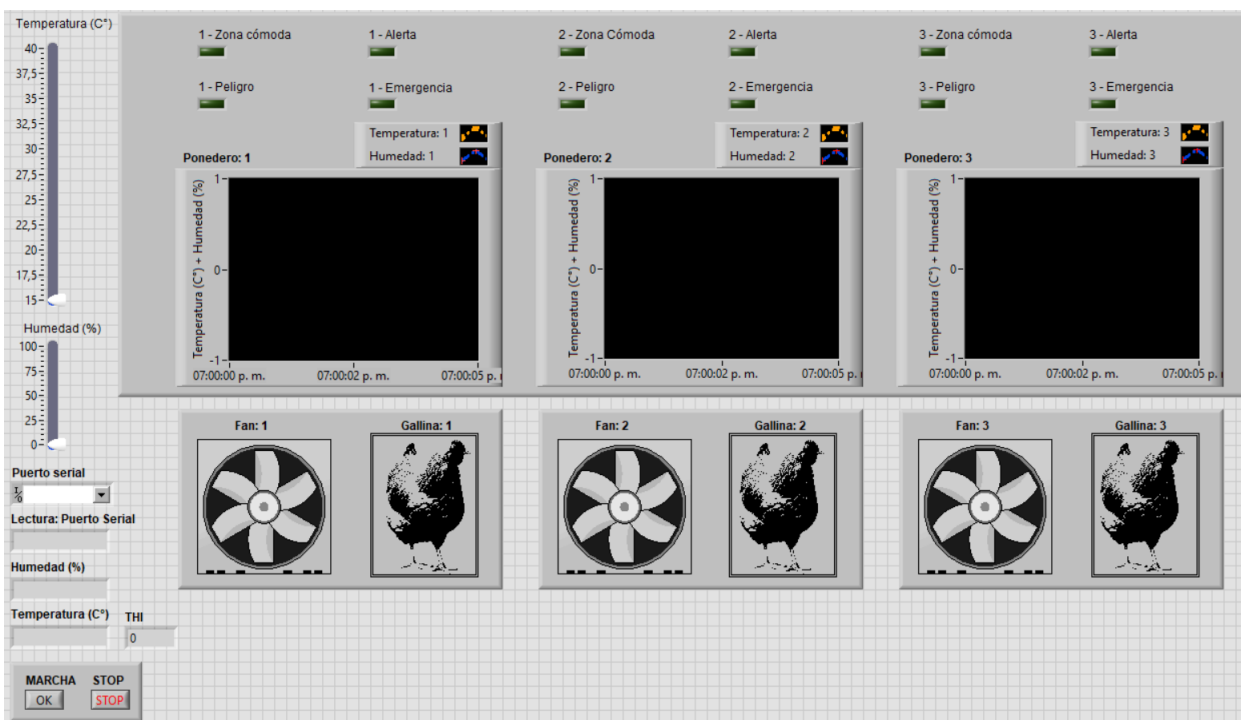
```

Aplicativo De Monitoreo Para PC En Labview

El diseño de la interfaz del aplicativo luce de la siguiente manera:

Figura 16

Diseño de interfaz gráfica de aplicativo para PC en LabVIEW



Fuente. Creación del autor

En las raíces del aplicativo usaremos el siguiente algoritmo: La aplicación se encarga de recibir un byte que representa la lectura del sensor enviada por Xbee a través del puerto USB, el cual almacenaremos como un dato de tipo *String* y procederemos a seccionarlo en dos, por ejemplo, si recibimos “4020”, este dato seccionándolo en dos partes iguales nos daría como resultado 40 y luego 20, representándonos las lecturas de la siguiente manera:

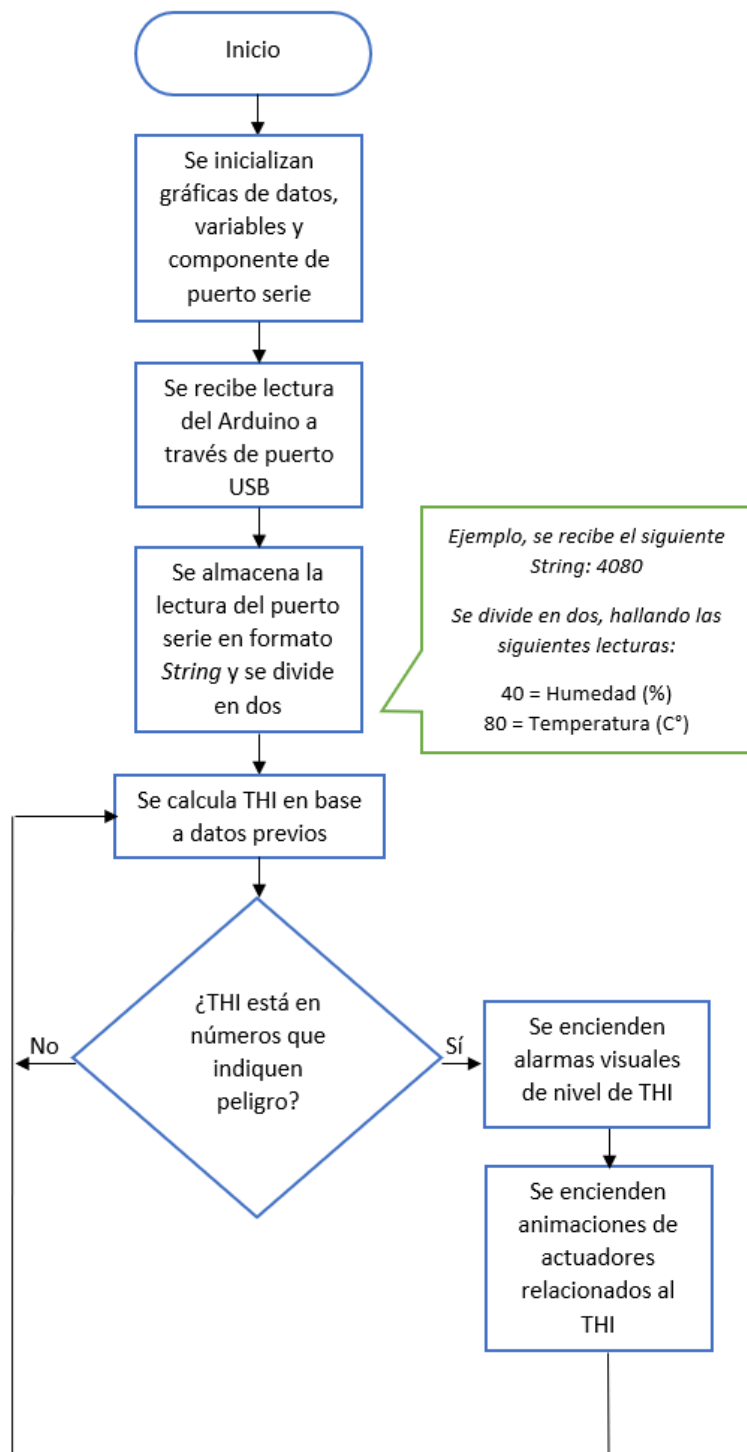
Primera sección: Humedad relativa (% porcentaje), en el ejemplo de 4020, sería 40% de humedad relativa.

Segunda sección: Temperatura (C° grados Celsius), en el ejemplo de 4020, sería 20 C°.

A partir de estas variables almacenadas podemos hacer que la interfaz reaccione y alerte de distintas maneras conforme a estos datos crean distintos niveles de THI. Para una comprensión mayor y una representación más visual del algoritmo, se muestra el siguiente diagrama de flujo con la idea previamente explicada:

Figura 17

Diagrama de flujo de aplicativo de monitoreo en LabVIEW

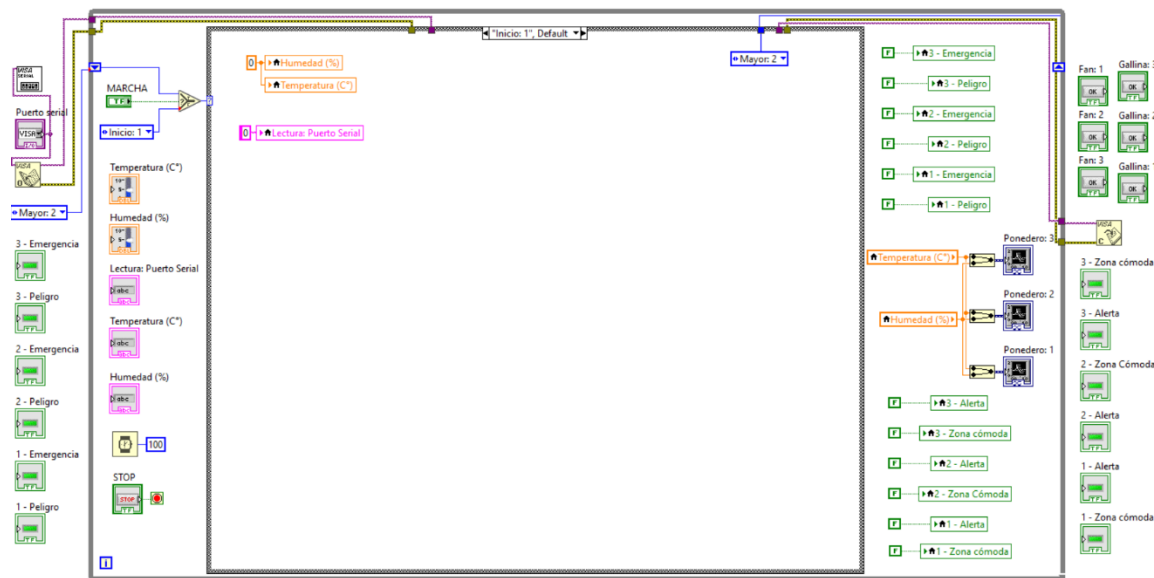


Fuente. Creación del autor

La elaboración de este algoritmo en el entorno de programación de LabVIEW luce de la siguiente manera:

Figura 18

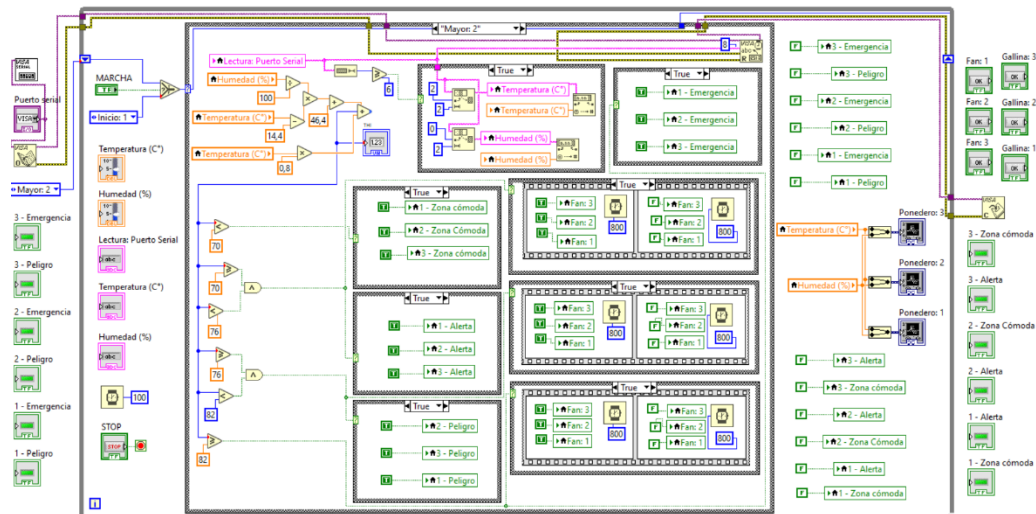
Algoritmo cuando no se ha iniciado el aplicativo



Fuente. Creación del autor

Figura 19

Aplicativo cuando se ha iniciado y tiene su lógica lista para lectura y muestra de alertas



Fuente. Propia del autor

Fase De Simulación

A continuación se detallan los pasos a seguir para llevar a cabo la simulación como también el análisis de los resultados obtenidos cuando todo el sistema se lleva a su funcionamiento al mismo tiempo.

Configuración De Puertos Serie

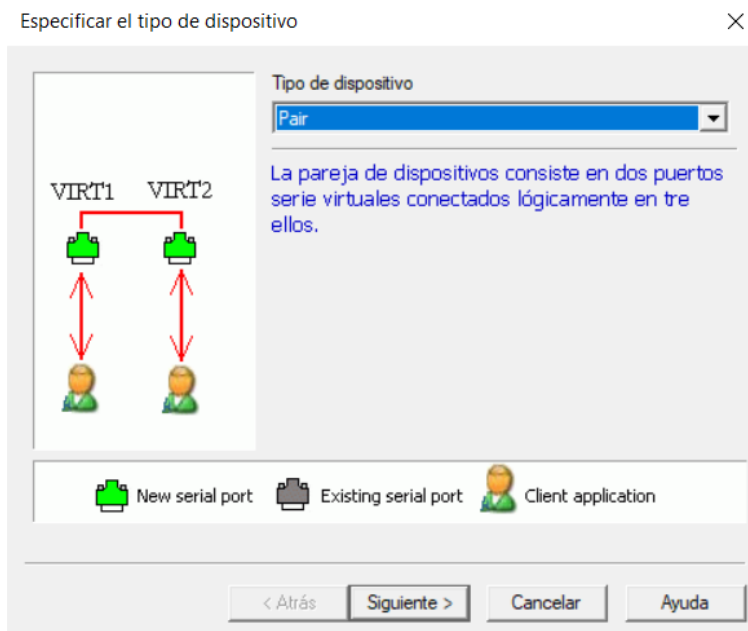
A favor de que podamos simular una comunicación con tecnología Zigbee, habilitaremos puertos serie que harán comunicación entre los módulos Xbee, los Arduino UNO y el Arduino MEGA del *nodo Coordinador*, como también, la comunicación entre el Arduino MEGA del *nodo Coordinador / PC* y el PC en sí.

Finalmente, LabVIEW deberá estar trabajando con el diseño presentado anteriormente y a su vez Proteus con los Arduino corriendo cada uno su código compilado y el sensor DHT22 entregando valores de humedad relativa y temperatura ajustados por nosotros para efectos de prueba. En el mercado se pueden encontrar muchos software que emulen la configuración de distintos puertos serie en el PC de manera virtual, pero se eligió el programa *Virtual Serial Ports Emulator* de la empresa *Eterlogic Software* por su confiabilidad y fácil configuración. La configuración será de la siguiente manera:

Los puertos COM1 y COM2 simularán la conexión entre los dos módulos Xbee de la placa Arduino UNO y el Arduino MEGA respectivamente

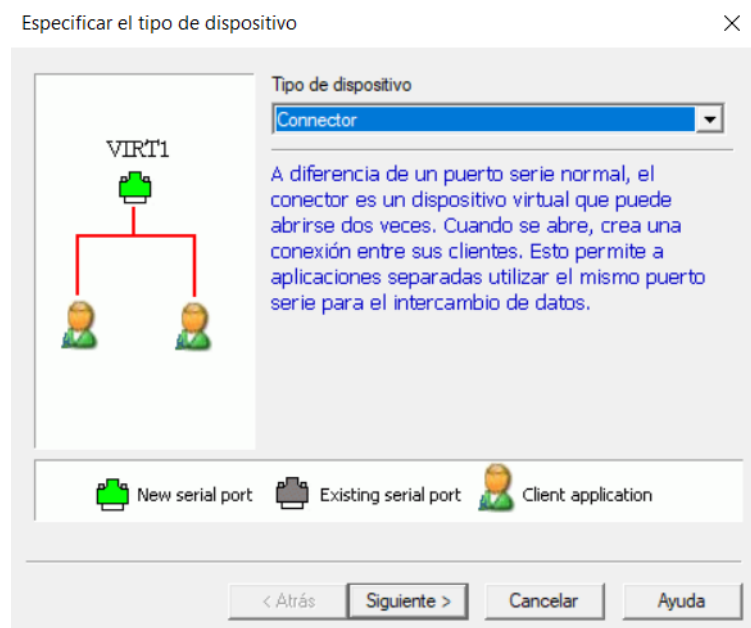
Figura 20

Configuración de par de puertos serie(COM1 y COM2)

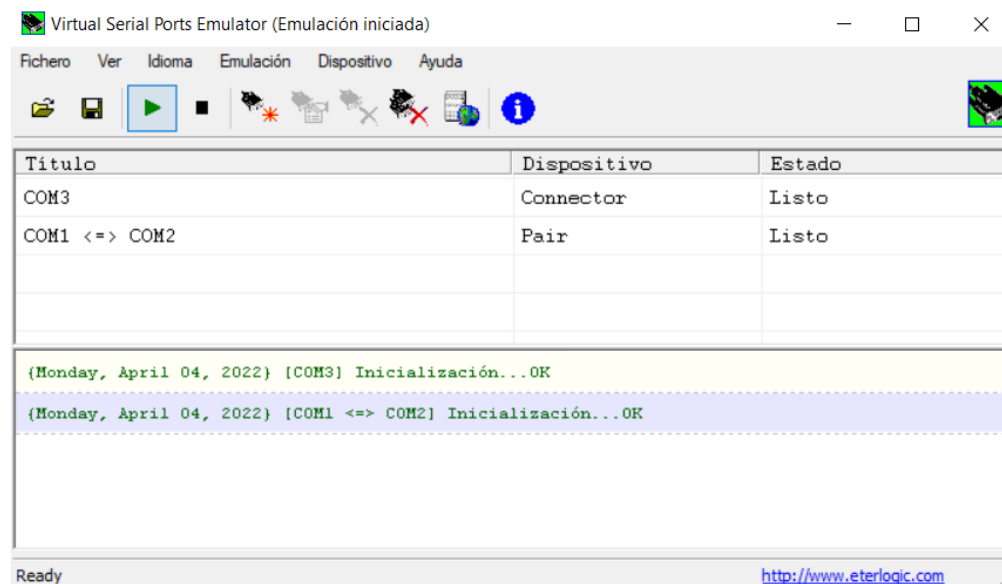


Fuente. Creación del autor

Mientras que con el programa simularemos un último puerto, el puerto COM3 que hará las veces de dispositivo virtual capaz de interconectar dos aplicaciones al mismo tiempo.

Figura 21*Configuración de puerto serie conector (COM3)*

Fuente. Creación del autor

Figura 22*Software de simulación de puertos serie configurado*

Fuente. Creación del autor

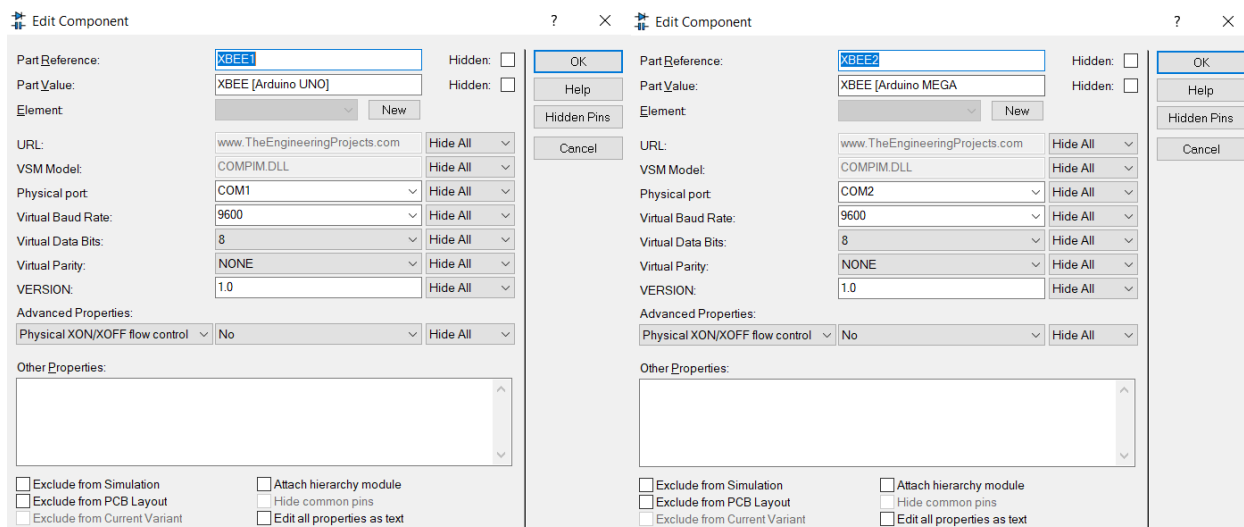
Habiendo preparado estos puertos serie, podemos configurar Proteus y LabVIEW para poner a prueba Arduinos con su programación, módulos Xbee, sensor y aplicativo de monitoreo.

Configuración De Proteus

Para la configuración de Proteus, abrimos el documento del diseño mostrado previamente y nos dirigimos a cada módulo Xbee, para dejar preparados los nombres de los puertos que se comunicarán, que serán COM1 y COM2 como anteriormente se mencionó, adicionalmente la velocidad de los baudios y demás cosas relacionadas a comunicación serie.

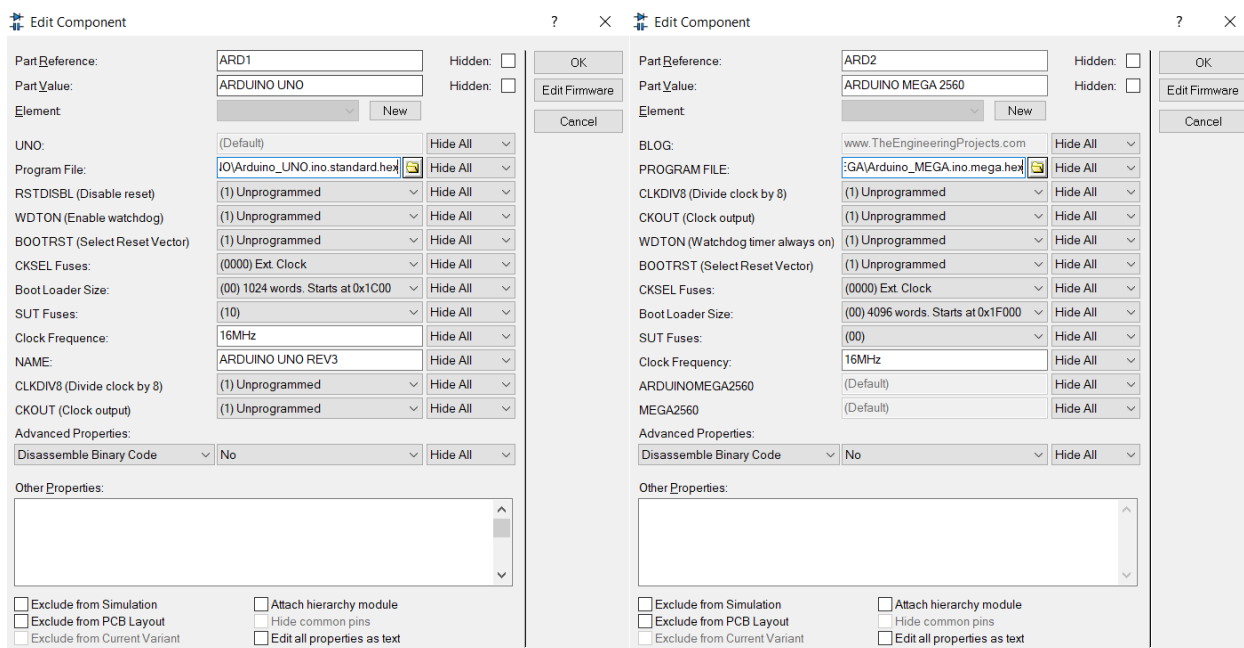
Figura 23

Configuración de ambos módulos Xbee en Proteus



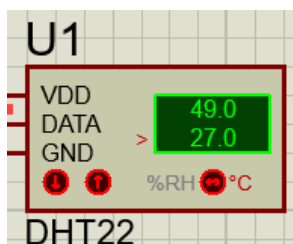
Fuente. Creación del autor

Debe configurarse también cada Arduino a funcionar, donde hay detalles tan importantes como *Programa File* que contiene la ruta de cada hexadecimal de la programación hecha previamente para cada Arduino. Adicional y no menos importante, también se deja establecida la velocidad de reloj de funcionamiento de cada Arduino, que será estándar en 16MHz.

Figura 24*Configuración de Arduinos en Proteus*

Fuente. Creación del autor

Al sensor de temperatura y humedad DHT22 se le deja en datos de 49% de humedad relativa y 27 grados Celsius solamente para efectos de prueba y simulación.

Figura 25*Sensor DHT22 mostrando valores para simulación en Proteus*

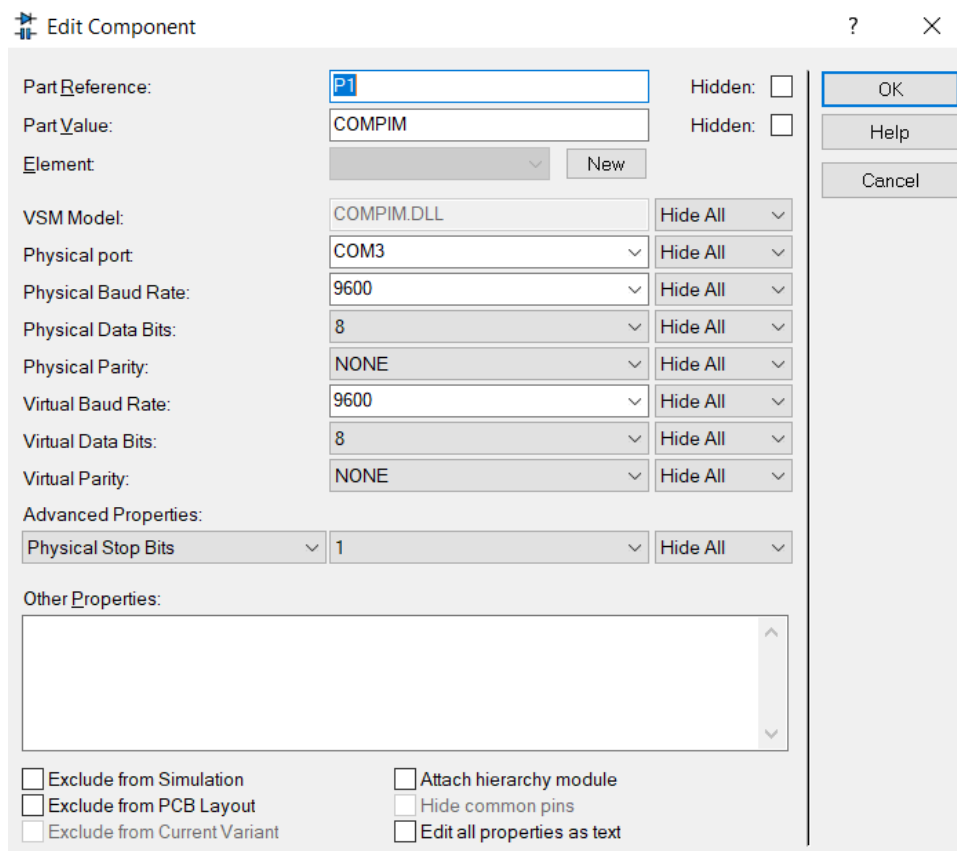
Fuente. Creación del autor

Por último se configura también la comunicación que tendrá el Arduino MEGA 2560 Rev3 vía USB con el PC, la cual efectuará a través de sus pines 0 y 1 y que en Proteus simularemos usando P1 o un COMPIM dentro del software, que proveerá una conexión de

puerto serie para captar la lectura enviada por el Arduino. Este puerto serie usará el COM3 configurado previamente en la aplicación de simulación de puertos, y tendrá las mismas características estándar de los otros puertos.

Figura 26

Puerto P1 que hará de USB para Arduino MEGA 2560 Rev3 en Proteus

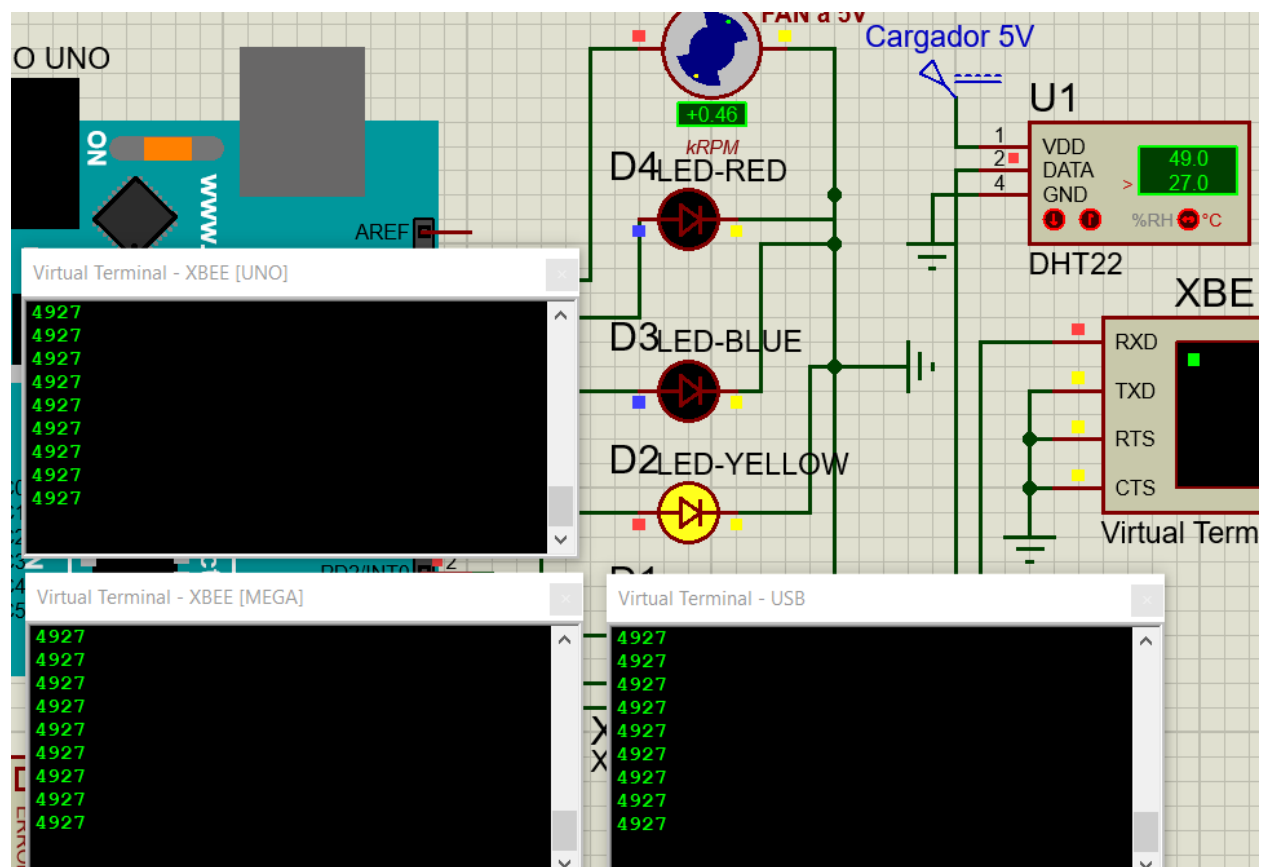


Fuente: Creación del autor

Ejecutamos la simulación y vemos las distintas Virtual Terminal ofrecernos las lecturas adecuadas captadas y enviadas por cada Arduino, incluso la lectura captada que saldrá al PC vía USB por el componente P1: 4927. Podremos evidenciar que el Arduino UNO emisor de la data de humedad relativa y temperatura calcula el THI y de acuerdo con este valor se acciona el ventilador a 5V y el led D2: LED-YELLOW, al tener un THI de 74 que ubica al ave en un nivel de *Alerta* que recomendaba el inicio de procesos de ventilación.

Figura 27

Proteus simulando todos los Arduinos con sus salidas a través de los módulos Xbee y sensor DHT22 mostrando valores puestos previamente



Fuente. Creación del autor

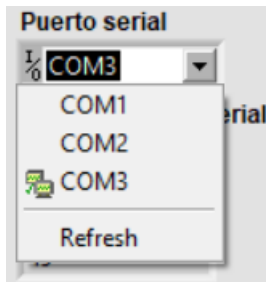
Configuración De LabVIEW

Habiendo configurado y puesto en funcionamiento previamente tanto la simulación de puertos serie como a Proteus, procedemos a configurar LabVIEW.

Primero debemos ubicar dentro de él al puerto serie a usar:

Figura 28

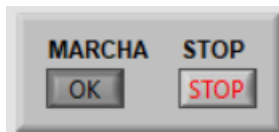
Selección de puerto para trabajar en LabVIEW con aplicativo de monitoreo en tiempo real (COM3)



Fuente. Creación del autor

Figura 29

Botón de Marcha en aplicativo desarrollado en LabVIEW

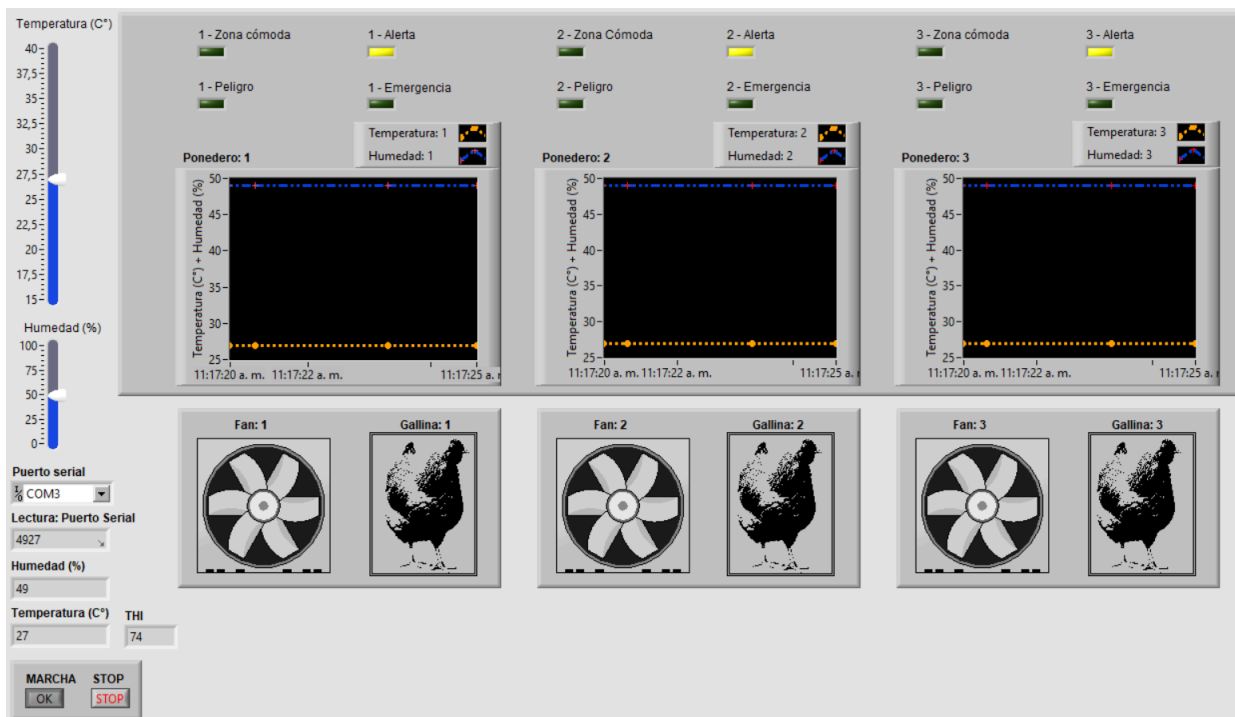


Fuente. Creación del autor

Ejecutamos la simulación y se presiona el botón *Marcha* dentro de la interfaz gráfica, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 30

Aplicativo de monitoreo en LabVIEW funcionando en tiempo real



Fuente. Creación del autor

Se puede evidenciar que se recibe sin problemas la lectura enviada por puerto USB del Arduino MEGA, así como también la muestra de alertas LED (en este caso, el led Amarillo 1 – *Alerta* se acciona para referenciar nivel de THI que se encuentra el ave) y el valor de THI en sí procesado por el aplicativo usando las variables de humedad relativa y temperatura. Adicional, por la falta de movimiento de las imágenes proporcionadas por este informe, no se puede evidenciar el movimiento de los ventiladores en la interfaz y tampoco el movimiento de las gráficas de humedad y temperatura, pero ellos están operativos en tiempo real mientras el aplicativo este activo.

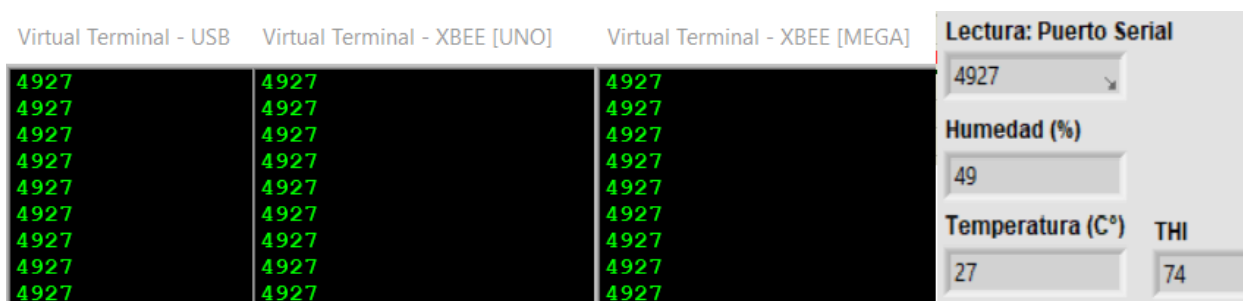
Análisis De Resultados

Habiendo visto los hallazgos relacionados a la simulación, podemos apreciar la efectividad del sistema como un todo, funcionando en tiempo real tanto los puertos serie como Proteus con cada uno de sus Arduino y sus puertos, como a su vez, el aplicativo de monitoreo en tiempo real de PC elaborado en LabVIEW.

Los resultados son prometedores y dan muestra de que un ensamble con componentes reales en entornos reales puede ser factible, y que el sistema brinda lecturas confiables de humedad relativa y temperatura de forma precisa, así como también el accionamiento de actuadores de acuerdo con valores de THI proporcionados por investigaciones de envergadura internacional, se podrá aportar al bienestar de las aves, campesinado y avicultores de la región que implementen este diseño.

Figura 31

Resumen de resultados obtenidos en distintas salidas de Proteus y en aplicativo de monitoreo en LabVIEW



Fuente. Creación del autor

Conclusiones

Contrastando los datos y resultados hallados en las distintas simulaciones con las variables medioambientales obtenidas en artículos y bases de datos especializadas se puede concluir que los resultados encontrados en el sistema son eficaces para dar solución a esta problemática. La evidencia recolectada deja ver que la solución es efectiva, permitiendo brindar bienestar a las aves que tengan este tipo de implementación en los galpones.

En el país se puede evidenciar, gracias a los antecedentes mostrados a lo largo de este diseño, que hay cada vez más proyectos que intentan aplacar las condiciones climáticas que afectan a gallina ponedoras en empresas y granjas avícolas nacionales. Sin embargo, podemos apreciar que varios de estos proyectos llevados a cabo por terceros suelen involucrar un gran costo para implementar su solución. El proyecto aquí presentado difiere de ellos al ser elaborado con componentes económicos y accesibles haciendo que sea más fácil de elaborar y que, aun así, responden con efectividad a la solución. Concluyéndose finalmente que este proyecto, al incluir este tipo de componentes provee un alivio económico al campesinado que quiera solventar esta dificultad.

La elaboración de este sistema y el haberlo desarrollado a través de componentes accesibles y entornos simulables siendo estudiantes de ingeniería, permite inferir que la comunidad académica puede involucrarse en la vida rural del país de manera positiva si tuviese conocimiento pleno de las duras circunstancias que tienen algunos animales, como las gallinas ponedoras en este caso. De lo anterior mencionado se puede también concluir que los entes estudiantiles como las universidades son claves para la transformación tecnológica del campo, ya que con poco dinero y más bien creatividad se pueden brindar soluciones eficaces al sector rural.

Recomendaciones

El presente proyecto brinda un escenario teórico y simulado, con resultados hallados por computadora bajo software de simulación, por lo tanto, al llevarse dicho diseño a la realidad, pueden darse ligeros cambios en los resultados hallados. Sin embargo este documento expone el uso detallado de los materiales todos en conjunto, y la programación de cada nodo de la red de sensores inalámbrica, para que así, cuando sea llevado a la implementación el diseño, los resultados sean lo más cercanos a la simulación, puesto que los sensores captarán la información in situ, y serán los Arduinos los encargados de hacer las tareas a través de sus actuadores sin mayor gravedad en el sitio.

Este proyecto soporta la idea de brindar ayuda y bienestar a gallinas ponedoras ante temperaturas y porcentajes de humedad que las puedan afectar negativamente a ellas y a sus productos, y sin embargo, no busca reemplazar las otras estrategias de mitigación del calor como lo es una correcta hidratación en dichas aves. La correcta hidratación en estas aves es de vital importancia. (Penz, 2011)

Al momento de diseñar la red sensores inalámbrica, se pensó en el caudal de información a través de cada nodo, hallando así que ZigBee solamente soporta 250 k/bits (Ashok Somani & Patel, 2012). Esta velocidad de transmisión es suficiente para el proyecto funcionar, pero debe ser tomada en cuenta si se le desea realizar modificaciones a lo largo del tiempo.

Referencias

- Aguayo, P. (2021, 7 febrero). *¿Qué es un Shield? | Arduino.cl*. Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea. <https://arduino.cl/que-es-un-shield/>
- Aguayo, P. (2022a, julio 8). *¿Qué es Arduino?* Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea. <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Aguayo, P. (2022b, julio 8). *Software de Arduino*. Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea. <https://arduino.cl/programacion/>
- Amazon.es (s. f.). Noctua NF-A4x10 5V, Ventilador Silencioso, 3 Pines, Versión de 5V (40x10 mm, Marrón) [Imagen]. Amazon.es <https://www.amazon.es/Noctua-NF-A4X10-FLX-5V-ordenador-Ventilador/dp/B00NEMGCIA>
- Arduino Mega 2560 Rev3. (s. f.). Arduino Online Shop. Recuperado el 27 de diciembre de 2022. <https://store-usa.arduino.cc/collections/boards/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Arduino Store (s. f.). Arduino Mega 2560 Rev3 [Imagen]. Arduino Store USA. <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Arduino Store (s. f.). Arduino UNO Rev3 [Imagen]. Arduino Store USA. <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- Arduino Uno Rev3. (s. f.). Arduino Official Store. Recuperado el 27 de diciembre de 2022. <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- Ashok Somani, N. (2012). Zigbee: A Low Power Wireless Technology for Industrial Applications. *International Journal of Control Theory and Computer Modeling*, 2(3), 27-33. <https://doi.org/10.5121/ijctcm.2012.2303>
- AviNews (2016). *Adaptación del índice de estrés por calor de temperatura y humedad para aves ponedoras propuesto por Xin, Hongwei y Harmon, Jay D., "Livestock Industry Facilities*

- and Environment: Heat Stress Indices for Livestock” (1998)* [Imagen]. AviNews.
<https://avinews.com/entendiendo-estres-calor-las-ponedoras-parte-i/>
- Cabrera, O. (2016, 18 agosto). *Entendiendo el estrés por calor en las ponedoras (I)*. aviNews, la revista global de avicultura. <https://avinews.com/entendiendo-estres-calor-las-ponedoras-i/>
- Cordero, D. G. (2014, 7 octubre). *El cambio climático*.
<https://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1392>
- Coy Sierra, S. A. & Daza Leguizamon, E. A. (2019). *Desarrollo del control automático de temperatura para un galpón de aves de corral en la avícola Optipollo* [Tesis de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás.
<http://hdl.handle.net/11634/21694>
- DIGI. (s. f.). *¿Qué es el protocolo Zigbee de redes inalámbricas de malla?* Digi. Recuperado el 27 de diciembre de 2022. <https://es.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>
- Editorial La República S.A.S. (2021, 18 febrero). *Consumo de huevo en Colombia tuvo un crecimiento de 11,6% en el año de la pandemia*.
<https://www.agronegocios.co/agricultura/consumo-de-huevo-en-colombia-tuvo-un-crecimiento-de-116-en-el-ano-de-la-pandemia-3127013>
- Galeano Moyano, Y. K. (2018). *Automatización De Planta Avícola* [Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional Universidad Distrital.
<http://hdl.handle.net/11349/13879>
- Hubor [Hubor]. (s. f.). *¿Qué es proteus?* Recuperado el 27 de diciembre de 2022, de
<https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>

- ICA. Instituto Colombiano Agropecuario. (2014). Resolución 3651. *Por medio de la cual se establece los requisitos para la certificación de granjas avícolas de postura y/o levante*. Capítulo II, Artículo 4.3.8. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2014/2014r3651>
- IEEE S.A. (2020, 23 julio). *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks*. <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.4/7029/>
- Mader, T. L., Davis, M. S. & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle^{1,2}. *Journal of Animal Science*, 84(3), 712-719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
- Mashaly, M., Hendricks, G., Kalama, M., Gehad, A., Abbas, A. & Patterson, P. (2004). Effect of Heat Stress on Production Parameters and Immune Responses of Commercial Laying Hens. *Poultry Science*, 83(6), 889-894. <https://doi.org/10.1093/ps/83.6.889>
- Mora, S. I. (2020, 1 junio). *Diseño de una planta de tratamiento de agua automatizada portable mediante el método de osmosis inversa para optimizar del funcionamiento de las máquinas de hemodiálisis*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia] Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34614>
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- National Instruments. (s. f.-a). *Edición de la Comunidad de LabVIEW*. NI. Recuperado el 28 de diciembre de 2022. <https://www.ni.com/es-co/shop/labview/select-edition/labview-community-edition.html>

- National Instruments. (s. f.-b). *¿Qué es LabVIEW? Programación gráfica para pruebas y medidas*. NI. Recuperado el 28 de diciembre de 2022. <https://www.ni.com/es-co/shop/labview.html>
- National Instruments. (s. f.-c). *System Requirements for LabVIEW Development Systems and Modules*. NI. Recuperado el 28 de diciembre de 2022. <https://www.ni.com/es-co/support/documentation/supplemental/17/system-requirements-for-labview-development-systems-and-modules.html>
- Naylamp Mechatronics (2021). Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302) [Imagen]. Naylamp Mechatronics. <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- Penz, M. (2011, 11 octubre). *Importancia de agua en la producción de pollo: 1*. El Sitio Avícola. <https://www.elsitioavicola.com/articles/2035/importancia-de-agua-en-la-produccion-de-pollo-1/>
- Pinto, A. C., De La Hoz Franco, E. & Pinto, D. C. (2012). Las redes de sensores inalámbricos y el internet de las cosas. *INGE CUC*, 8(1), 163-172. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/1546>
- Porrúa, M. (2001). Cambio climático global: causas y consecuencias. *Revista de información y análisis*, 16, 1405-6364. <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGTS/MGTS15/MGTSV15-02/SEMANA3/climatico.pdf>
- Ranjan, A., Sinha, R., Devi, I., Rahim, A. & Tiwari, S. (2019). Effect of Heat Stress on Poultry Production and their Managemental Approaches. *International Journal of Current*

- Microbiology and Applied Sciences*, 8(02), 1548-1555.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.181>
- RobotShop (s. f.). Shield XBee V2 para Arduino [Imagen]. RobotShop
<https://eu.robotshop.com/es/products/xbee-shield-v2-for-arduino>
- Rozenboim, I., Tako, E., Gal-Garber, O., Proudman, J. & Uni, Z. (2007). The Effect of Heat Stress on Ovarian Function of Laying Hens. *Poultry Science*, 86(8), 1760-1765.
<https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1760>
- Ruzal, M., Shinder, D., Malka, I. & Yahav, S. (2011). Ventilation plays an important role in hens' egg production at high ambient temperature. *Poultry Science*, 90(4), 856-862.
<https://doi.org/10.3382/ps.2010-00993>
- Termotecnica Pericoli. (2022, 5 julio). *Temperature Humidity Index: What you need to know about it*. <https://www.pericoli.com/en/temperature-humidity-index-what-you-need-to-know-about-it/>
- Vidal, M. (2009, 1 marzo). *El huevo y su valor nutricional*. Revista Cubana De Alimentación y Nutrición. <https://revalnutricion.sld.cu/index.php/rcan/article/view/836/1142>
- Xin, H. & Harmon, J. D. (1998). Livestock Industry Facilities and Environment: Heat Stress Indices for Livestock. *Agriculture and Natural Resources: Iowa State University*, 1173.
<https://dr.lib.iastate.edu/handle/20.500.12876/33087>